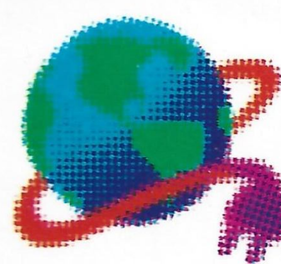
NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO

A AVENTURA DO CONHECIMENTO



A Aventura do Conhecimento

ATÉ ONDE A VISTA ALCANÇA

por Arthur C. Clarke

Há anos venho me divertindo com meus visitantes ao lhes mostrar dois pequenos objetos e pedir que adivinhem de onde são. Um deles é um prego de cobre torto; o outro, mais misterioso, é um pedaço de material preto chamuscado, com estrutura semelhante à de um favo de mel. Em geral, dou uma pista às minhas vítimas: são relíquias de duas das mais importantes viagens de descobrimento da humanidade. O prego é do famoso navio H.M.S. Bounty e me foi dado pelo fotógrafo da *National Geographic Society* Luis Marden, que localizou os destroços ao largo da ilha Pitcairn, onde marinheiros amotinados incendiaram e afundaram a embarcação. O pedaço de "favo" carbonizado é do revestimento especial da Apollo 8, que protegeu a tripulação durante a reentrada da nave na atmosfera terrestre após a primeira circunavegação da Lua. Poucos artefatos sintetizam melhor os extraordinários avanços conquistados pela tecnologia em apenas 180 anos. Será que esse ritmo de progresso continuará ou as descobertas declinarão gradativamente até o dia em que a humanidade atinja um futuro estável?

Página anterior: A passagem do tempo se manifesta nos rastros da Lua e das estrelas



Toro: superfície em forma de anel construída por computador que permite estabelecer novas relações espaciais

Na minha opinião, ainda estamos muito longe desse estado confortável porém enfadonho. No que diz respeito às descobertas, podemos ter certeza de que a natureza ainda nos reserva muitas surpresas. O famoso biólogo J.B.S. Haldane acertou em cheio ao declarar que o Universo não só é muito mais estranho do que imaginamos – mas é muito mais estranho do que podemos imaginar. Quem teria sonhado com pulsares – estrelas supervelozes que rodopiam centenas de vezes por segundo, varrendo o firmamento com fachos de ondas eletromagnéticas? Ou com estrelas de nêutrons, em cuja superfície uma pessoa seria esmagada em instantes e transformada em nada mais do que uma camada microscopicamente fina?

Esses exemplos nos advertem do quanto é difícil prever as descobertas tecnológicas do futuro, simplesmente porque a natureza pode conter forças e potências ainda não descobertas e, portanto, inexploradas. Benjamin Franklin não imaginaria que dominaríamos a energia elétrica a ponto de utilizá-la numa infinidade de tarefas domésticas. Thomas Edison ficaria pasmo diante de um laser, uma calculadora de bolso, um holograma ou um CD. E não acreditaria em seus próprios olhos se observasse um chip de silício num microscópio. Essa maravilha que revolucionou o mundo é uma prova do que costumo chamar de a Terceira Lei de Clarke: "Qualquer tecnologia muito avançada é indistinguível da magia". Seguem, assim, algumas possíveis mágicas que poderão moldar o futuro.

A exploração espacial tem sido o principal interesse da minha vida e me sinto lisonjeado por ter apertado a mão do primeiro homem a orbitar a Terra, do primeiro a dar uma caminhada espacial e do primeiro a pisar na Lua. Infelizmente, o envio de qualquer coisa à órbita terrestre custa pelo menos 10 mil dólares por quilo. O progresso na tecnologia de foguetes talvez venha a permitir um turismo espacial limitado no próximo século, mas ele só seria acessível aos muito ricos. Os foguetes não são apenas ineficientes, como também deploráveis do ponto de vista ecológico e potencialmente perigosos. Tem de haver uma alternativa melhor.

E ela existe, pelo menos em teoria. Não ria: trata-se de um elevador. Em 1960, o engenheiro russo Yuri Artsutanov sugeriu a possibilidade de se esticar um cabo de um satélite geoestacionário em órbita até a Terra, 36 mil quilômetros mais abaixo. Com base nisso, seria viável construir um sistema para levar passageiros e cargas ao espaço, a uma velocidade confortável e a um custo irrisório.

Um elevador espacial como esse exigiria materiais de imensa força de tração – e os melhores aços de hoje seriam inadequados para isso. Todavia, em 1993, cientistas da Universidade Rice, em Houston, no Texas, descobriram uma nova forma de carbono hiper-resistente que recebeu o nome de *fullerenes* ou *buckyballs* em homenagem ao famoso engenheiro Buckminster Fuller. Orgulhosos, os especialistas anunciaram que o material permitiria construir o elevador. Mesmo se ele for viabilizado, os foguetes ainda seriam necessários para viajar até a Lua e aos planetas, e retornar à Terra. Ou será que algum dia eles se tornarão obsoletos?

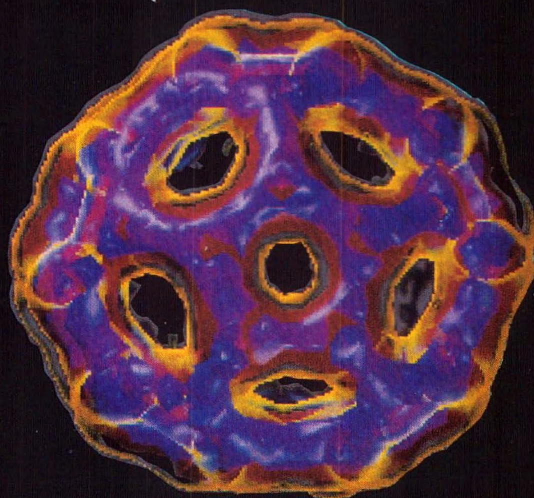
Os escritores de ficção científica vêm sonhando há tempos com um

fantástico "dirigível espacial" que nos permitiria sair correndo pelo Universo. Até agora, isso não passou de pura imaginação. Mas recentes estudos teóricos baseados em algumas idéias do respeitado físico russo Andrei Sakharov sugerem que um certo grau de controle sobre as misteriosas forças da gravidade e da inércia é realmente plausível.

Essas conjecturas dependem da surpreendente descoberta de que o espaço vazio é, na verdade, um caldeirão de energias borbulhantes conhecidas como flutuações quânticas. Se elas puderem ser aproveitadas, o impacto sobre a civilização será incalculável. O petróleo, o carvão e as energias nuclear e hidrelétrica ficariam tão obsoletos quanto nossas preocupações com a poluição ambiental.

A produção em massa de chips para computadores e o armazenamento de milhões de transístores em um centímetro quadrado foi outra idéia maluca que hoje em dia faz parte do nosso cotidiano. Mas a manipulação da matéria em dimensões microscópicas, ou até atômicas, é apenas o começo. Teoricamente, as especificações de qualquer objeto, por mais complexo que seja, poderiam ser armazenadas num espaço relativamente pequeno de memória. Depois, ele poderia ser reconstruído por um equipamento adequado a partir de uma matriz e da montagem dos átomos certos. Essa máquina, chamada replicador, teria a mesma utilidade para objetos sólidos que a fotocopiadora tem para manuscritos e fotografias. Se a idéia lhe parece fantástica, já imaginou o que pensaria um monge-escrivão dos antigos mosteiros sobre uma máquina de xerox?

Existe uma outra possibilidade para o futuro que, por enquanto, não passa de especulação, mas que teria um impacto imensurável sobre o mundo: o contato com



Simulação de um *buckyball*, um novo material super-resistente, feito de carbono puro

seres extraterrestres inteligentes. É bem possível que entre as estrelas existam civilizações milhares de vezes mais antigas que a nossa. E, mesmo que não estejam interessadas em conversar com criaturas tão primitivas quanto o *Homo sapiens*, talvez possamos detectá-las. Da mesma forma, alguém a vários anos-luz da Terra poderia perceber as emissões de radar e TV que ruidosamente anunciam nossa presença ao Universo.

É óbvio que o contato físico direto com os ET seria um acontecimento muito mais assombroso do que a simples detecção desses seres. Mais cedo ou mais tarde, teremos visitantes. E isso já pode ter acontecido muitas vezes nos milênios vazios que antecederam o homem.

Gostaria de terminar parafraseando Haldane: Como aconteceu com o cosmo, o futuro não só será mais estranho do que imaginamos. Ele será mais estranho do que podemos imaginar.

ENSAIO DE ARTHUR C. CLARKE PARA O LIVRO *FRONTLINE OF DISCOVERY*. ARTHUR C. CLARKE, ESCRITOR DE FICÇÃO CIENTÍFICA INGLÊS QUE VIVE NO SRI LANKA HÁ 30 ANOS, JÁ PUBLICOU MAIS DE 70 LIVROS. CRÉDITOS DAS FOTOS: CAPA DURA, RICHARD WAHLSTROM/THE IMAGE BANK; PÁGINA 1, J.A. KRAULIS/MASTERFILE; PÁGINA 3, ARTHUR WINFREE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/PHOTO RESEARCHERS; PÁGINA 4, J. BERNHOLC ET AL., NORTH CAROLINA STATE UNIV./SCIENCE PHOTO LIBRARY/PHOTO RESEARCHERS

FRONTLINE OF DISCOVERY FOI PRODUZIDO POR *THE NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY BOOK DIVISION*. VICE-PRESIDENTE E DIRETOR: WILLIAM R. GRAY. EDITORA CHEFE: BARBARA A. PAYNE. EDITORA DE IMAGENS: GRETA ARNOLD. DIRETORA DE ARTE: MARIANNE R. KOSZORUS. CONSULTORES: SUSAN C. ECKERT E ANN N. KELSALL.

EDIÇÃO BRASILEIRA: **KLICK EDITORA.** ESPECIALMENTE PRODUZIDA PARA **O ESTADO DE S.PAULO**. TRADUÇÃO: SUZANA SCHINDLER. TEXTO FINAL: LUCI AYALA. REVISÃO: CYNTIA PANZANI E GENULINO SANTOS. SUPERVISÃO GRÁFICA: MAURÍCIO MORI. CONSULTORES: O ESPAÇO – IRINEU GOMES VARELLA, DIRETOR DO PLANETÁRIO MUNICIPAL DE SÃO PAULO E DA ESCOLA MUNICIPAL DE ASTROFÍSICA; UMA NOVA BIOLOGIA – SYLVIA MAESTRELLI, PROFESSORA DO INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP); O CLIMA – RUBENS H. BORN, COORDENADOR DO INSTITUTO VITAE CIVILIS PARA O DESENVOLVIMENTO, MEIO AMBIENTE E PAZ; NOVOS MATERIAIS – JOSÉ DOMINGOS TEIXEIRA VASCONCELOS, PESQUISADOR DO INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA DA USP; O CÉREBRO – CEME FERREIRA JORDY, PROFESSOR DA ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA E DO INSTITUTO DE PSICOLOGIA DA USP.

BIOLOGIA I

- DNA – O SEGREDO DA VIDA
- OS CAÇADORES DE GENES
- O PROJETO GENOMA

A AVENTURA DO CONHECIMENTO



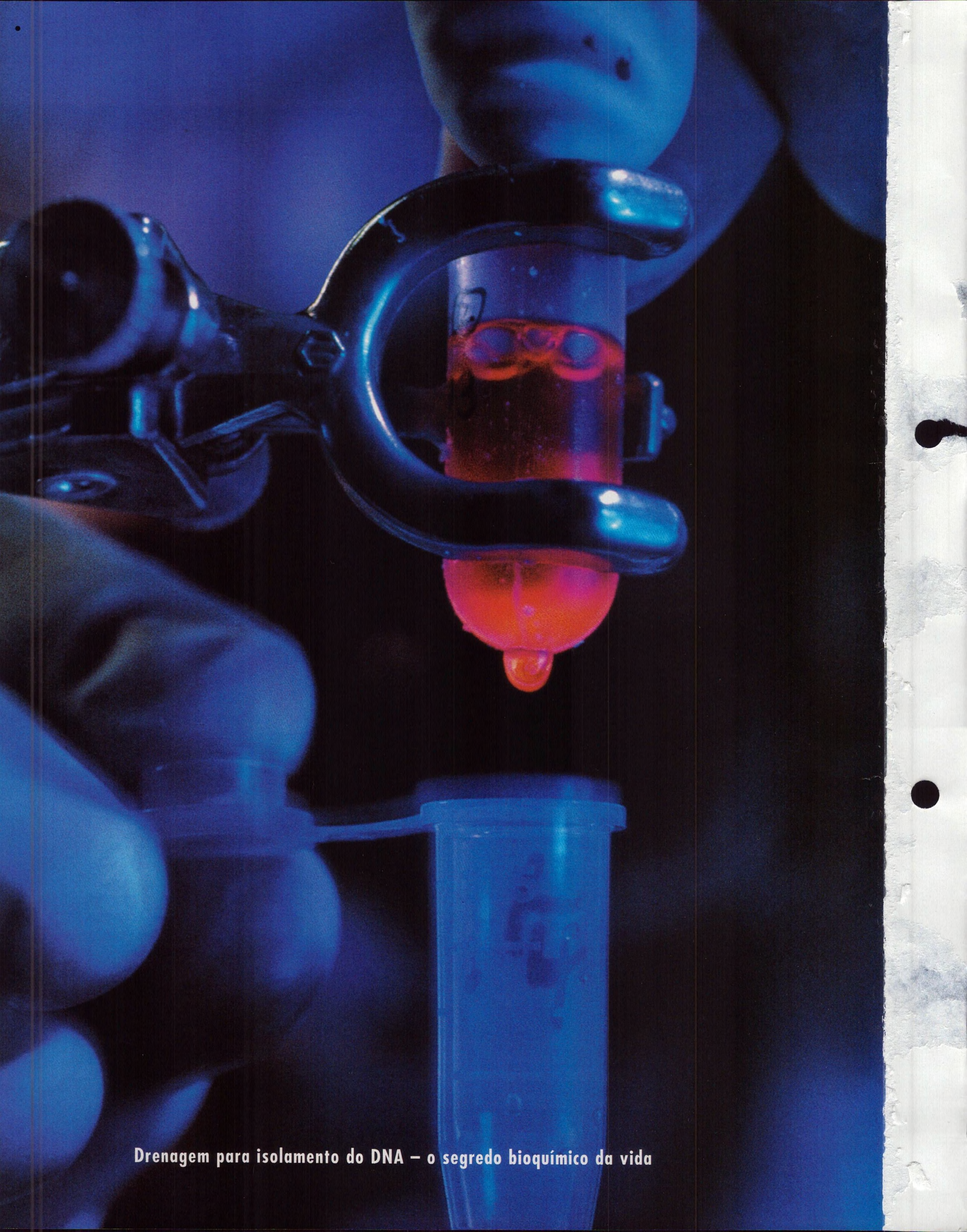
NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



Biologia I

Coordenação editorial
Klick editora


Drenagem para isolamento do DNA – o segredo bioquímico da vida

UMA NOVA BIOLOGIA

por Stephen S. Hall

Há vários anos, o jovem casal Gatewood dirigiu-se à sala de espera de uma clínica neuropsiquiátrica da Escola de Medicina Johns Hopkins, em Baltimore, nos Estados Unidos. Como muitos casais de sua idade, estavam ansiosos por iniciar uma família. Antes disso, porém, deviam cumprir uma tarefa: fazer um teste genético. A mãe de John Gatewood tinha morrido de uma disfunção neurológica grave, a doença de Huntington, e o rapaz sabia que tinha 50 por cento de chances de herdar o gene. No entanto, movido por aquela misteriosa teimosia que, às vezes, nos leva a crer que estamos acima das probabilidades que governam a herança genética, Gatewood estava convencido de que não herdara o gene fatal.

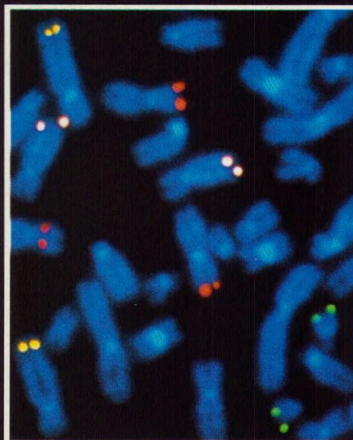
Capa: O congelamento conserva células para pesquisas genéticas



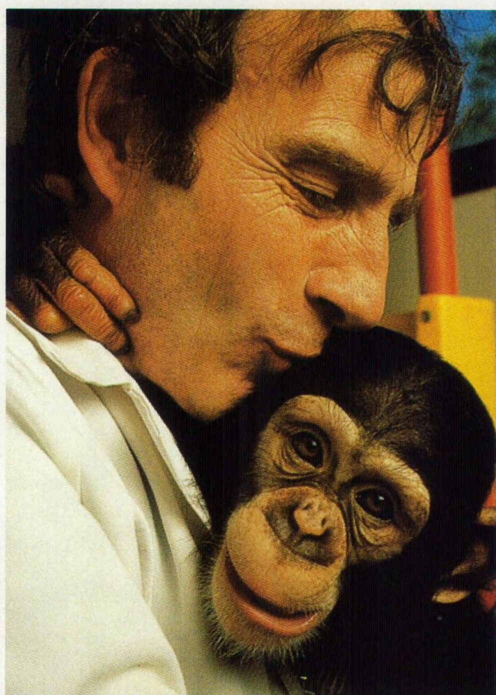
DNA

O ácido desoxirribonucléico – DNA –, a molécula da hereditariedade encontrada nas células dos seres vivos, guarda todas as informações necessárias à vida.
Uma técnica (*à esquerda*) examina um frasco com DNA extraído de glóbulos brancos do sangue.





No núcleo de uma célula de cebola (*extrema esquerda*) aumentado cerca de 500 vezes, as manchas escuras indicam os cromossomos com sua carga de DNA. Cada filamento de DNA se condensa numa dessas estruturas quando a célula se prepara para a divisão. Em cromossomos humanos (*à esquerda*), aqui tingidos de azul, os contrastes fluorescentes identificam certos genes na cadeia de DNA. As sequências de genes contêm as mensagens que governam a vida.



Um chimpanzé e um ser humano têm quase os mesmos tipos de genes. A diferença reside em aproximadamente um por cento dos genes do genoma humano. Uma imagem computadorizada da molécula de DNA (*página ao lado*) reproduz sua estrutura de espiral dupla.

Como será receber uma previsão genética? Ann-Marie Codori, psicóloga que aconselha pacientes no centro médico de Baltimore, responde com outra pergunta: "Você já esteve envolvido num acidente de carro?" Para ela, a sensação é semelhante: "Ficamos chocados, sem muita consciência do que está acontecendo à nossa volta. Quando falam conosco, não entendemos direito o que dizem. Pois é assim que as pessoas que fazem testes genéticos olham para mim quando lhes digo que têm – ou não têm – determinado gene", diz a psicóloga.

Para muitos, é como se lhes tirassem um peso das costas – não só por eles mesmos, mas também pelos filhos. Os que têm resultados favoráveis encaram o veredito como uma espécie de presente; outros, que obtêm resultados desfavoráveis, sentem-se culpados.

John Gatewood ficou arrasado. Não apenas soube que sua chance de ter herdado o gene era de 95 por cento, como também foi informado de que não existiam tratamento, cirurgia, nem mesmo a iminência de uma droga para salvá-lo de seu futuro. Isso o lançou numa queda livre emocional.

A vida de John Gatewood foi virada ao avesso pelo que a especialista em genética Nancy Wexler, da Universidade de Colúmbia, chama de

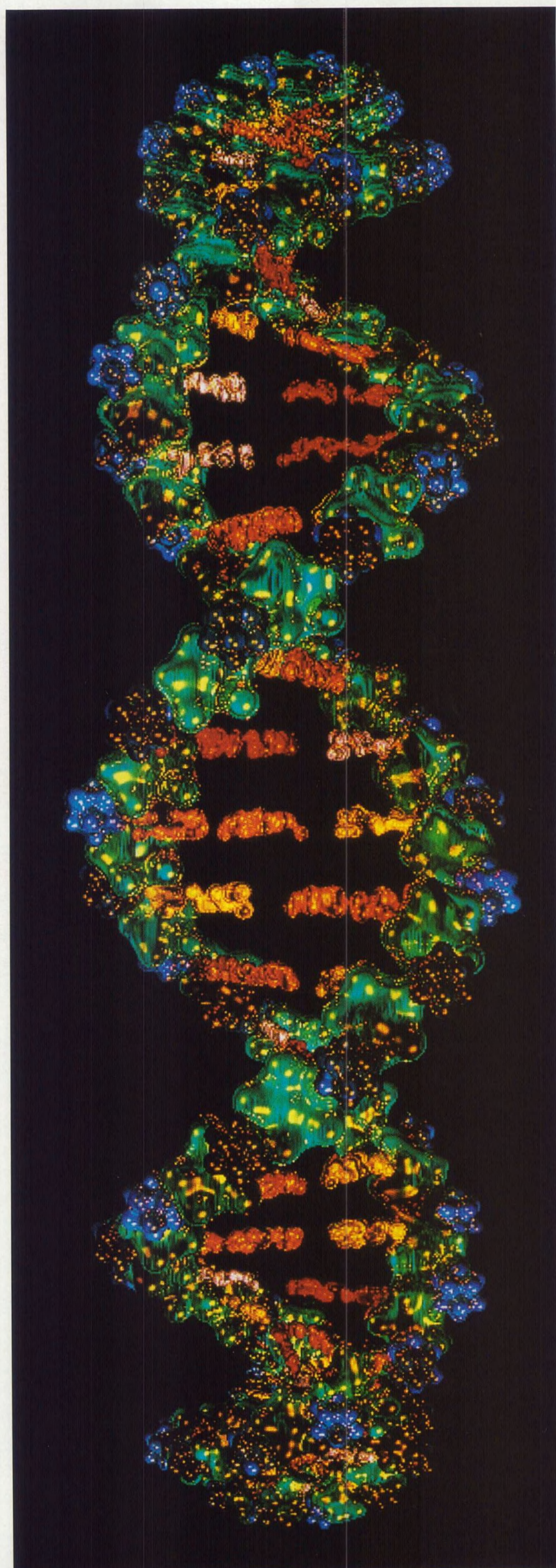
"conhecimento genético" – a capacidade de os cientistas penetrarem numa célula humana e lerem seu núcleo como se fosse uma bola de cristal. As imagens ali refletidas podem revelar uma morte agonizante e irremediável.

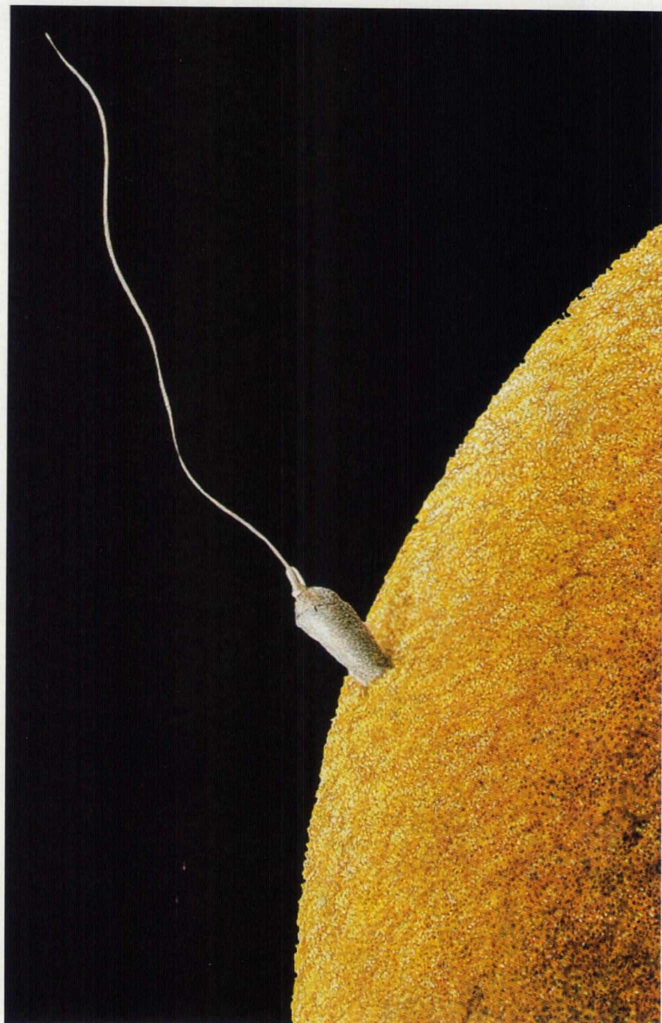
A experiência de John Gatewood (o nome é fictício, mas a história é real) expõe o dilema de estarmos numa era em que a capacidade da medicina de prever doenças hereditárias é muitas vezes superior a de curá-las.

Os dilemas da biologia molecular podem ser observados de outros ângulos. Em 1991, cientistas da Hopkins e da Universidade de Utah identificaram o gene que provoca uma forma rara e hereditária de câncer de cólon, conhecido como FAP (*familial adenomatous polyposis*), no qual centenas de pólipos (tumores sustentados por uma parte mais fina, parecendo uma raiz) pré-cancerosos começam a se formar em crianças de até 10 anos.

Gloria M. Petersen e suas colegas da Escola de Higiene e Saúde Pública da Universidade Johns Hopkins começaram a examinar pessoas com histórico familiar de FAP. Uma das visitas levou Petersen a uma jovem viúva cujo lar havia sido dizimado pelo terrível gene.

O marido, pai de seus cinco filhos, morrera de câncer de cólon com pouco mais de 30 anos; um irmão e uma irmã dele sofriam do mesmo problema e as duas filhas mais velhas do casal, já adolescentes, tinham sido diagnosticadas com a doença durante check-ups de rotina. Quando surgiu um exame genético para detectar o câncer de cólon, a mãe decidiu submeter os três filhos mais jovens ao teste. Duas das crianças tiveram resultado negativo, mas um dos meninos, de 11 anos, herdara o gene para a doença. Os exames também confirmaram que o processo canceroso já havia





No momento da concepção, um espermatozóide humano penetra a membrana externa de um óvulo. O embrião se desenvolverá durante os nove meses seguintes, período em que suas células vão se diferenciando e formando os músculos, nervos, tecidos e órgãos do ser humano.

começado. Em uma semana, a mãe do garoto marcou uma cirurgia para remover seu cólon. Essa é, sem dúvida, uma forma drástica de medicina preventiva, mas, na opinião de muitos médicos, pode dar à criança uma vida melhor e mais longa e, em muitos casos, normal.

Apesar de serem anomalias genéticas relativamente raras, a doença de FAP e a de Huntington são exemplos tanto das soluções quanto dos dilemas que a biologia molecular pode trazer.

Os caçadores de genes descobrem um novo gene a cada dia. Logo em seguida, algumas empresas inundam o mercado com kits de testes. Doenças mais comuns, como problemas cardíacos, câncer e diabetes, também são alvos de intensas investigações genéticas.

Com o poder de previsão da medicina molecular, poderemos decidir se teremos ou não filhos, que carreira seguir, quais alimentos ingerir e quais hábitos mudar. Poderemos também planejar como – e com quem – vamos enfrentar o futuro.

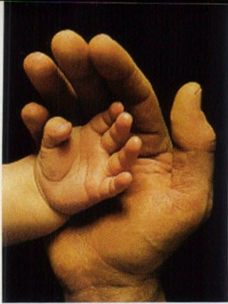
O comentário que uma mulher fez a Ann-Marie Codori ao receber o resultado de seu exame é extremamente adequado para a era em que vivemos: "A vida nunca mais será a mesma". Tampouco o serão a medicina ou a biologia.

Cada um de nós tem a chave para esse universo de informações. Ela têm a forma de uma espiral dupla, parecida com um escada retorcida, que é o formato da estrutura de uma molécula do ácido desoxirribonucléico, o DNA, o segredo bioquímico da vida.

A idéia de que esse ácido poderia ser a molécula essencial da informação genética foi apresentada em 1953 por James Dewey Watson e Francis H.C.Crick – uma descoberta que, sem sombra de dúvida, deu início à mais produtiva era da história da pesquisa biológica.

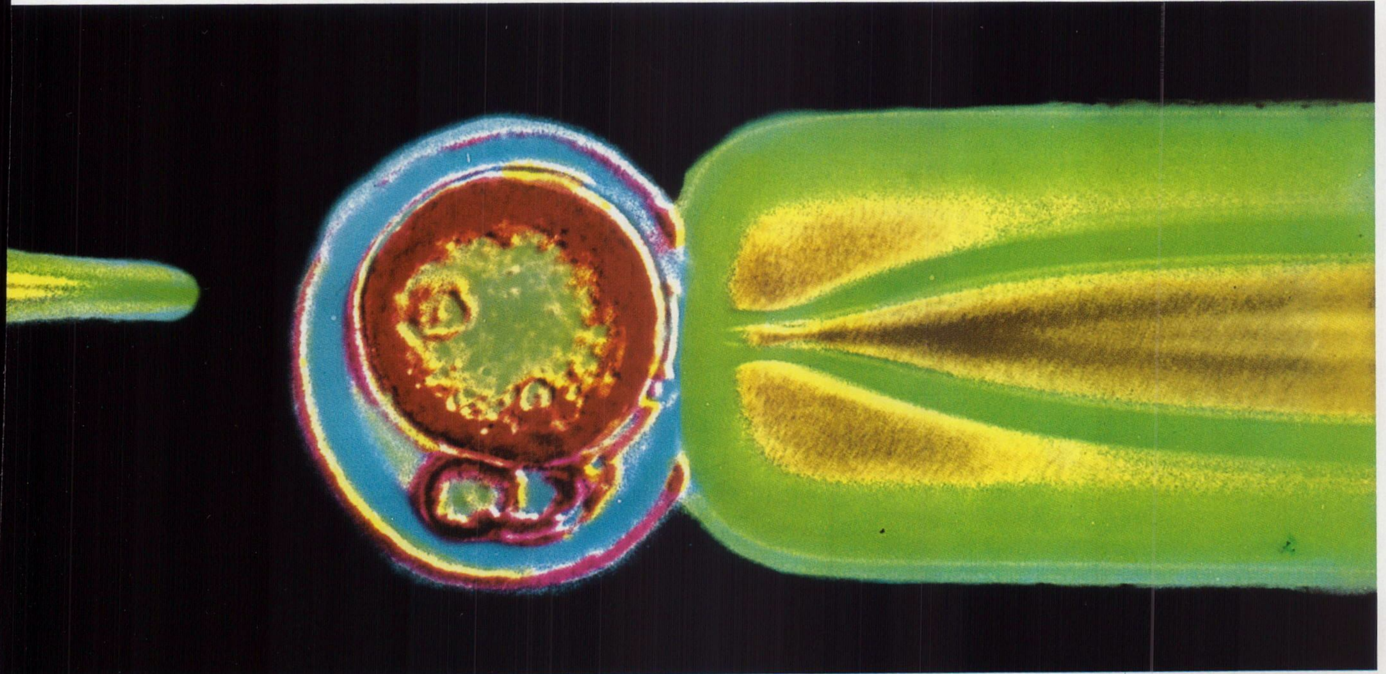
Pare um pouco e examine suas mãos. Cada pintinha representa uma colônia de milhares de células de pigmentação. Todas essas células têm um núcleo e este, por sua vez, contém 23 pares de cromossomos com uma quantidade de DNA tão incrivelmente condensada que, se fosse "desenrolada" como um novelo de lã, mediria 1,8 metro. Mas o DNA não é tão notável por seu comprimento quanto pela quantidade e tipos de informações que transmite.

Assim como um computador usando um "alfabeto" elementar de apenas dois algarismos – zero e um – é capaz de guiar uma espaçonave pelo sistema solar, o DNA



REPRODUÇÃO

No momento da concepção, uma criança herda um quadro genético completo. Ao contrário da maioria das células, óvulos e espermatozóides carregam uma mistura aleatória dos genes dos indivíduos. O encontro entre dois óvulos e dois espermatozóides iguais jamais acontece. Por isso, a exceção de gêmeos idênticos, cada pessoa é única do ponto de vista genético.



usa um alfabeto bioquímico mínimo de quatro letras – A, T, C e G – para codificar cada proteína, hormônio ou molécula necessários à vida.

As letras correspondem às substâncias adenina, timina, citosina e guanina. Elas se unem em pares distintos – a adenina (A) apenas à timina (T), e a citosina (C) à guanina (G) – e formam as barras que ligam os dois filamentos da espiral dupla (os degraus da escada retorcida). Os genes nada mais são do que sequências específicas dessas letras – uma determinada sequência codifica uma informação que instrui a célula sobre como fabricar uma determinada proteína de acordo com as rígidas regras da "gramática biológica". A combinação das letras ACC, por exemplo, sempre codifica o aminoácido triptofano, um dos 20 aminoácidos de que a célula dispõe para formar as proteínas (compostos orgânicos constituídos por cadeias de aminoácidos), os principais componentes de todos os organismos vivos. O "texto genético" completo, não-abreviado, dos seres



Engenharia genética: uma delgada pipeta com DNA está prestes a inserir um gene estranho no óvulo de um camundongo (*acima*). O óvulo fica preso por sucção a uma pipeta maior. Os gêmeos de proveta (*ao lado*) nasceram com um ano e meio de diferença, mas de embriões produzidos ao mesmo tempo. Um dos embriões foi preservado e mais tarde implantado no útero materno.



PROJETO GENOMA

O programa visa decifrar até o ano 2005 o conjunto completo de códigos químicos que formam o "mapa genético" dos seres humanos. Os cientistas ampliam seu conhecimento observando os efeitos da extração de genes em camundongos.

humanos – conhecido como genoma – contém 3 bilhões de combinações diferentes das letras que codificam o DNA. Talvez o paradoxo mais notável e espantoso em tudo isso seja o fato de que dois seres humanos podem ser 99,9 por cento idênticos em termos de tipos de genes, mas essa pequena diferença de 0,1 por cento é responsável por toda a individualidade física que observamos na raça humana.

O tremendo processo de "fermentação biológica" atual – o rápido progresso em localizar genes, descobrir as proteínas que fabricam e testá-las como possíveis drogas, além da criação de imagens atômicas tridimensionais de sua estrutura –, toda essa explosão de atividade deve-se não apenas à descoberta de Watson e Crick, mas à introdução de novas e potentes técnicas de laboratório conhecidas como técnicas de DNA recombinante.

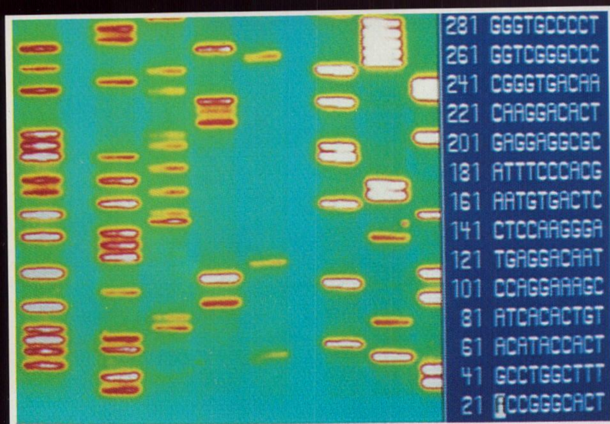


O mapeador de genes Eric S. Lander, diretor do Centro para Pesquisas de Genoma do Instituto Whitehead, em Cambridge, Massachusetts, mostra chapas duplas de vidro que contêm fragmentos de DNA numa substância gelatinosa. Cientistas cortam o DNA em pedaços usando proteínas naturais, chamadas enzimas de restrição. Essas "tesouras" químicas, capazes de cortar cromossomos em pontos previamente determinados, são uma ferramenta básica da engenharia genética na busca de genes que causam vários tipos de doenças hereditárias.

Em 1973, Stanley N. Cohen, da Universidade de Stanford, e Hervert W. Boyer, do campus da Universidade da Califórnia em São Francisco, demonstraram que o DNA pode ser cortado em pedaços, recombinado e duplicado em quantidades enormes. Com essa súbita abundância de material genético disponível, outros pesquisadores mostraram como as letras de determinados genes podem ser identificadas. Foi assim que o "texto genético" começou a ser decifrado.

O ponto alto de duas décadas de pesquisas desse tipo é o Projeto Genoma Humano, avaliado em 3 bilhões de dólares. Lançado em 1990, ele visa identificar a exata localização e a sequência bioquímica de cada um dos genes humanos em nosso 1,8 metro de DNA. Não se sabe ao certo quantos genes encontram-se espalhados por essa "selva" espiralada, mas os pesquisadores admitem que seja na ordem dos 100 mil. Qualquer que seja o número, o especialista em biologia molecular e ganhador do Prêmio Nobel, Walter Gilbert, da Universidade de Harvard, define este baú de informações como o "graal da genética humana".

Talvez a melhor maneira de imaginar o DNA seja como um caminho. Como o fio de um novelo mágico, ele fica acenando para os curiosos pesquisadores, levando-os à direções fascinantes. O DNA nos leva, por exemplo, à medicina molecular: a insulina humana, os hormônios de crescimento e o interferon, só para



Esta imagem computadorizada mostra uma sequência de nucleotídeos, as unidades estruturais dos ácidos nucléicos, ao longo de um fragmento de DNA. Cada barra representa uma das quatro substâncias – adenina (A), timina (T), citosina (C) e guanina (G) – identificadas por reações enzimáticas. O computador primeiro separa as substâncias e depois as coloca em ordem em suas respectivas colunas. Um único gene pode ter até 10 mil letras, mas o código em si não revela sua função.

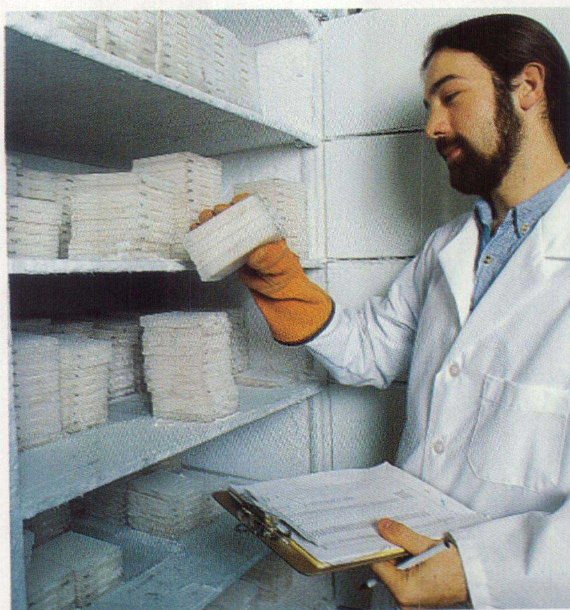
mencionar alguns, são medicamentos obtidos por meio da engenharia genética que vêm ajudando pessoas a se manter vivas e saudáveis há mais de uma década.

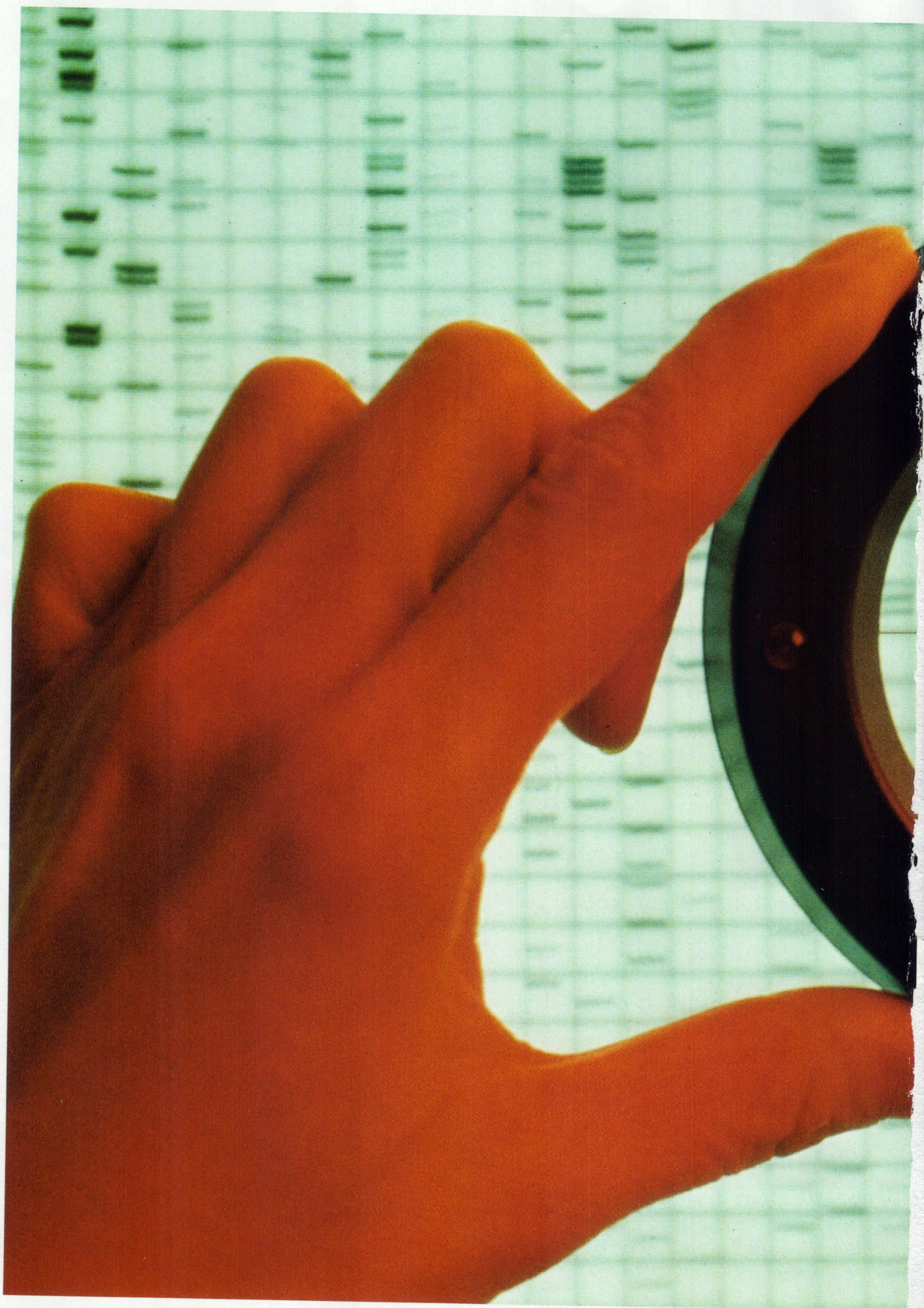
Os caminhos do DNA também nos levam aos segredos do desenvolvimento de embriões. Pesquisadores como Sean Carrol, da Universidade de Wisconsin, começaram a demonstrar como os genes orquestram a formação de membros e apêndices como se fossem asas de borboletas abrindo-se após a metamorfose. Além disso, os rastros deixados pelo DNA são capazes de levar a criminosos. Em 1992, a análise do DNA de células de saliva encontradas em bitucas de cigarro, feita por peritos do FBI, ajudou a identificar os suspeitos pela morte do principal investigador contra a Máfia italiana.

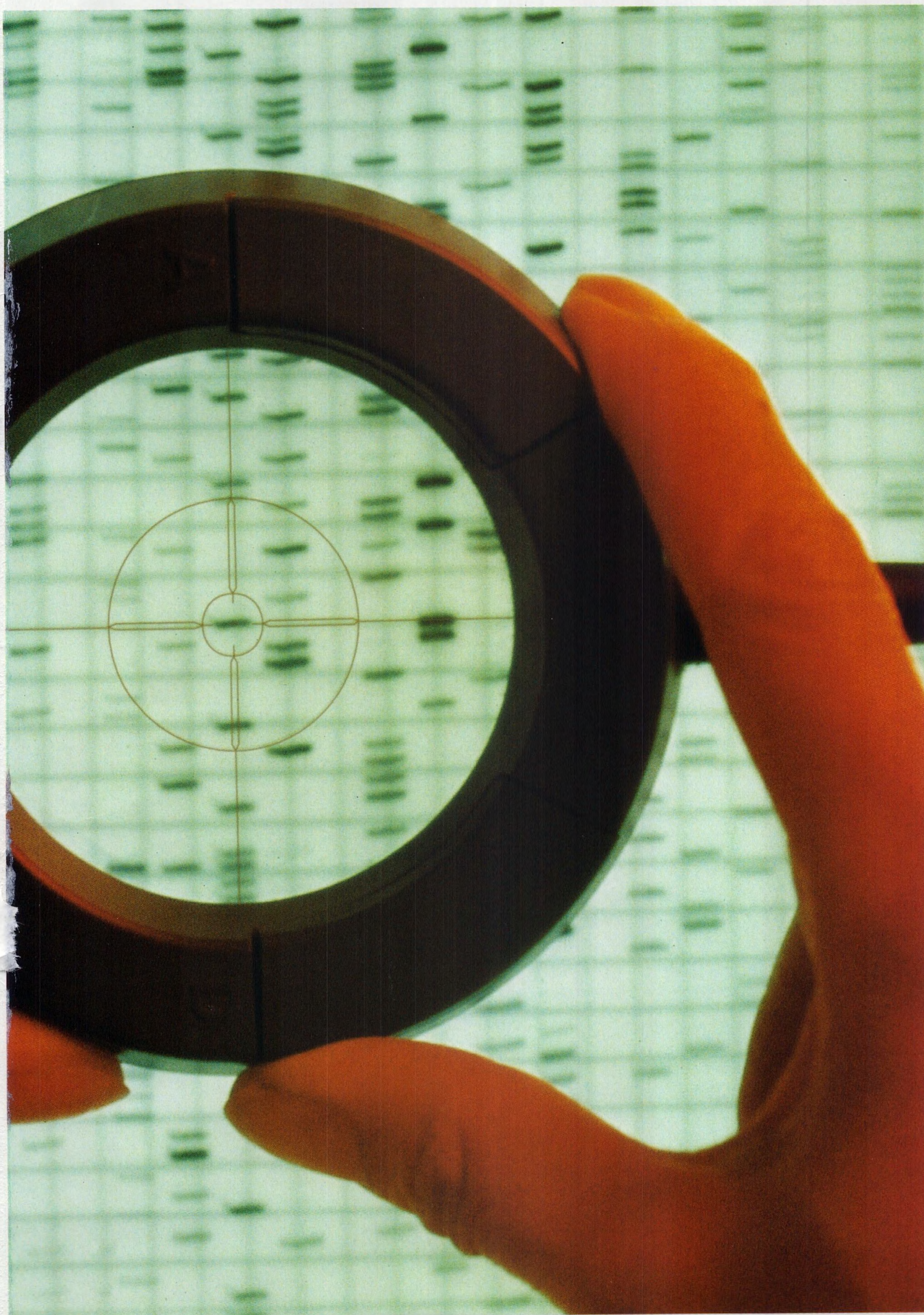
O DNA também pode suscitar delicados dilemas éticos e sociais. Para Paul Billings, da Universidade de Stanford, que documentou centenas de casos de recusa de emprego ou de benefícios da previdência social devido "à composição genética de uma pessoa", esse tipo de discriminação já é um problema (*continua na página 12*).

Um pesquisador do Instituto Whitehead (*abaixo*) checa o estoque congelado da biblioteca de genes humanos. As bandejas contêm células de fermento chamadas hospedeiras (elas "hospedam" fragmentos de DNA humano), que, ao se multiplicar, reproduzem o DNA nelas inserido – processo comumente chamado de clonagem.

Páginas seguintes: A mira de um indicador gráfico guia um computador na análise de perfis genéticos.







CONHECIMENTO GENÉTICO

Cientistas localizam genes defeituosos que provocam doenças hereditárias e desenvolvem novos testes para detectar grupos de risco. Esse tipo de análise suscita debates éticos sobre quem tem o direito de conhecer as previsões feitas a partir do DNA.

Além disso, a manipulação rotineira do DNA nos leva a uma percepção básica dos processos biológicos: como as moléculas trafegam dentro de uma célula, a forma como os genes se "ligam e desligam", quais genes estão relacionados com determinadas doenças e como os médicos poderiam reparar ou atenuar os danos causados por deficiências genéticas. Antes de mais nada, porém, os caminhos do DNA estão levando os biólogos a uma atividade que antes era exclusiva dos cartógrafos: fazer mapas.

Os cartógrafos genéticos de hoje colocam suas descobertas cromossômicas em bancos de dados computadorizados que, instantaneamente, distribuem mapas via correio eletrônico. O "atlas" genético e o mundo biológico que ele representa estão tomando forma com muito mais rapidez do que a maioria das pessoas – inclusive os próprios biólogos – esperava.

"Para muita gente, isso não é muito bonito", diz Eric S. Lander, apontando para um mapa com todos os 20 cromossomos de um camundongo de laboratório.
E acrescenta: "Para mim, é a coisa mais linda do mundo. Além disso, cumpre a função específica de um mapa, que é a de permitir que você vá a qualquer lugar".

Os mapas do camundongo e de seu similar humano estão tomando forma como parte do Projeto Genoma Humano, do Instituto Whitehead de Pesquisas Biomédicas do Massachusetts Institute of Technology (MIT). Quem dirige o programa é Lander, um cientista de 37 anos.

O objetivo imediato desse esforço gigantesco é criar duas cartas diferentes do mesmo campo de DNA – uma com informações genéticas e outra com dados físicos. O mapa físico poderia ser comparado a uma série de marcos de quilometragem que informam onde você se encontra numa determinada paisagem linear, seja num cromossomo, seja numa rodovia interestadual. A carta genética indica pontos de referência biológicos específicos, como os genes, mas também mostra pedaços de DNA conhecidos como marcadores, que podem aparecer a intervalos irregulares ao longo da rodovia.

Se, por exemplo, compararmos um cromossomo à Rodovia Interestadual 40, que atravessa os EUA no sentido leste-oeste, da Carolina do Norte à Califórnia, alguém sem um mapa poderia ter de andar cerca de 4 mil quilômetros até encontrar uma saída para o Grande Canyon. Mas, com um mapa da Rodovia 40 dividido por estados e municípios, até mesmo um turista desavisado é capaz de encontrar o caminho para o Grande Canyon, no estado do Arizona.

Pois os biólogos começaram sua jornada pelo campo do DNA como turistas ignorantes. Passaram a dividir cada cromossomo em segmentos menores e mais manejáveis, transformando pequenos segmentos em importantes marcos microscópicos. Esse mapa físico é diferente dos diagramas que podem ser fixados na parede. Parece mais um jogo completo de tubos de ensaio, cada um deles com um pedaço padrão de cromossomo, como "marcos de quilometragem" a intervalos regulares. A meta é produzir um guia completo com a localização de todos os genes dos cromossomos. E essa tarefa, sem dúvida pretensiosa, está prosseguindo com uma rapidez espantosa.

Texto adaptado do ensaio de Stephen S. Hall para o livro Frontline of Discovery da National Geographic Society Book Division. Stephen S. Hall, autor de Mapping the Next Millenium, escreve sobre biologia molecular e história da ciência. Fotos localizadas segundo as iniciais: (a)= em cima, alto da página; (b)= embaixo; (e)= à esquerda; (c)= no centro; (d)= à direita. O complemento dos créditos das fotos segue as seguintes abreviaturas: PA= Peter Arnold, Inc.; TIB= The Image Bank; PR= Photo Researchers; SPL/PR= Science Photo Library/Photo Researchers. Capa: Peter Menzel. Páginas 2 e 3: Matt Meadows/PA. Página 4: (a, e) Ed Reschke/PA, (a, d) T. Ried & D. Ward/PA, (b) Steve Winter/Black Star. Página 5: (a, e) James Holmes, Cellmark Diagnostics/SPL/PR; (d) Douglas Struthers/Tony Stone Images. Página 6: Francis Leroy, Biocosmos/SPL/PR. Página 7: (a) David M. Porter/F-Stock, Inc.; (c) Jon Gordon/Phototake; (b) Hank Morgan. Página 8: Roger H. Ressmeyer. Página 9: (a) Donald Philby/FPG International; (c) Peter menzel; (b) Roger H. Ressmeyer. Páginas 10 e 11: Peter Menzel.

BIOLOGIA II

- BIOTECNOLOGIA E NOVAS FORMAS DE VIDA
- GENÉTICA E HEREDITARIEDADE
- DNA E CRIMINOLOGIA

A AVENTURA DO CONHECIMENTO



NATIONAL
GEOGRAPHIC
SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



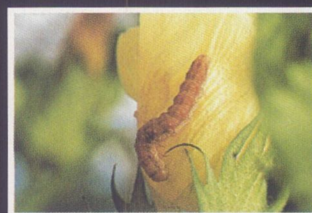
Biologia II

Coordenação editorial
Klick editora

BIOTECNOLOGIA


Culturas de sementes de pinheiros

Durante milênios, os agricultores aperfeiçoaram a natureza cruzando diferentes espécies e variedades vegetais para obter plantas com determinadas características. Há cerca de 3 mil anos, por exemplo, lavradores chineses cultivaram uma leguminosa silvestre que produzia um feijão preto ou marrom – a soja. As amostras de soja (*página ao lado*), selecionadas entre cerca de 7 mil variedades, ilustram a grande diversidade obtida por meio de técnicas convencionais de cultivo. Algo semelhante ocorreu com o milho, resultando no aumento da produtividade das colheitas desde o início do século. Atualmente, muitas espécies vêm sendo aperfeiçoadas


Algodão resistente a insetos

pela engenharia genética. Cientistas transferem genes de uma espécie para outra e criam cópias idênticas de plantas – um processo conhecido como clonagem. Para produzir pinheiros geneticamente idênticos, por exemplo, tratam fragmentos de tecido de uma determinada árvore com uma solução de hormônios responsáveis pelo crescimento vegetal. Um geneticista do Centro Meridional de Pesquisas Florestais da Universidade Estadual da Carolina do Norte (*acima, à esquerda*) examina culturas de


Tomates geneticamente alterados (*acima*) e amostras de milho híbrido (*à direita, embaixo*)

Capa: Células se multiplicam em frascos contendo meio de cultura



tecidos de sementes de árvores tratadas dessa forma. É possível que, em breve, as pesquisas permitam o desenvolvimento de árvores exclusivas com características específicas. Tomates geneticamente alterados do tipo *Flavr Savr* podem passar mais dias amadurecendo no pé. Ao isolar o gene que amolece os frutos maduros e inserir uma cópia inversa desse gene na planta, os cientistas conseguiram atrasar o apodrecimento do tomate. Assim, ele não precisa ser colhido ainda verde e seu sabor fica mais acentuado. As experiências feitas pela Companhia Monsanto resultaram numa espécie de algodão resistente a insetos. Para conseguir isso, os técnicos introduziram na planta genes de uma variedade de bactéria do solo a qual produz uma proteína que repele as pragas. Nos EUA, o medo de que essas plantas alteradas desenvolvam novos e perigosos tipos de doenças ou interfiram nos ecossistemas resultou na elaboração de várias normas de segurança. Depois de cerca de mil experiências mostrarem-se seguras, os temores e os regulamentos diminuíram.

Variedades de soja cultivadas naturalmente





Pesquisadores usaram uma técnica conhecida como DNA recombinante para detectar doenças viróticas em pintinhos. O gene defeituoso é extraído do vírus e inserido no DNA de uma bactéria, que é cultivada para fazer milhões de cópias de si mesma. O DNA recombinante age como uma sonda, detectando os portadores da doença.

Em 1973, quando os cientistas Stanley N. Cohen, da Universidade de Stanford, e Herbert W. Boyer, da Universidade da Califórnia, demonstraram que o DNA pode ser cortado em pedaços, recombinado e duplicado em grandes quantidades, as pesquisas em genética tomaram novo impulso. Esse procedimento, conhecido como técnica de DNA recombinante, resultou numa abundância de material genético disponível para as investigações. Os pesquisadores chegaram a um método para decifrar o "texto genético" contido no DNA. O conhecimento acumulado permitiu que, em 1990, fosse lançado o Projeto Genoma Humano, que articula vários centros de pesquisa espalhados pelo mundo e visa mapear a sequência exata dos genes que compõem o DNA humano.

Até 1994, a equipe de cientistas do Instituto Whitehead, em Cambridge, Massachusetts, produziu um mapa genético de camundongos com 4 006 marcos identificados – meta que os biólogos só esperavam alcançar em 1997.

Mas por que camundongos? "Todos os mamíferos são extremamente parecidos", explica Eric S. Lander, diretor do Centro de Pesquisas de Genoma do Instituto Whitehead. "Existe um modelo básico para o organismo dos mamíferos. Ele surgiu há cerca de 100 milhões de anos e não há diferenças significativas entre as várias espécies. Nossos órgãos ficam nos mesmos lugares, nosso cérebro funciona basicamente da mesma maneira e o sistema imunológico também. Sendo



ENGENHARIA GENÉTICA

A criação de novas raças por meio da manipulação genética poderá alterar os animais hoje conhecidos, já que é possível transplantar fragmentos de DNA de uma espécie para outra. O hormônio BST, por exemplo, fabricado por bactérias, aumenta a produção de leite de uma vaca (*à esquerda*).

assim, o camundongo é parecido o suficiente conosco para fazer o papel de substituto experimental", conclui Lander.

Os biólogos aprenderam, por exemplo, como extrair do embrião de um camundongo um gene em que tinham interesse especial e, depois, analisar o efeito dessa eliminação genética seletiva no desenvolvimento do animal. Recentemente, uma equipe chefiada pelo biólogo molecular Susumu Tonegawa, do Massachusetts Institute of Technology (MIT), ganhador de um Prêmio Nobel, anunciou o isolamento do gene da proteína kinase C-Gama (PKC-Gama), uma enzima considerada vital para o fortalecimento das conexões cerebrais envolvidas nas capacidades de aprendizagem e de memória. Quando os camundongos sem esse gene foram testados, apresentaram lapsos de fracos a moderados em sua capacidade de aprendizagem quando enfrentavam um labirinto aquático.

Embora as pesquisas com genes individuais dominem a biologia atual, muitos cientistas acreditam que o maior desafio do futuro será desmembrar genes que atuam em conjunto sobre problemas humanos mais corriqueiros, como as doenças do coração, o câncer, o diabetes e a hipertensão. "O mais importante é manter um senso de humildade e curiosidade em relação ao processo", afirma Lander. "Praticamente não sabemos nada sobre o genoma humano, estamos apenas tateando nesse campo. Talvez tenhamos pistas reais sobre como funciona uma centena de genes individuais, mas existem 100 mil, e eles colaboram uns com os outros. Levaremos no mínimo um século até compreendermos perfeitamente como todos esses genes trabalham juntos", adverte Lander.

Acomodando seu corpo volumoso numa cadeira, o doutor R. Michael Blaese, especialista em imunologia do National Institute of Health (NIH, Instituto Nacional de Saúde dos Estados Unidos), acabara de examinar um bebê de quatro meses com um grave defeito genético no sistema imunológico (*continua na página 8*),

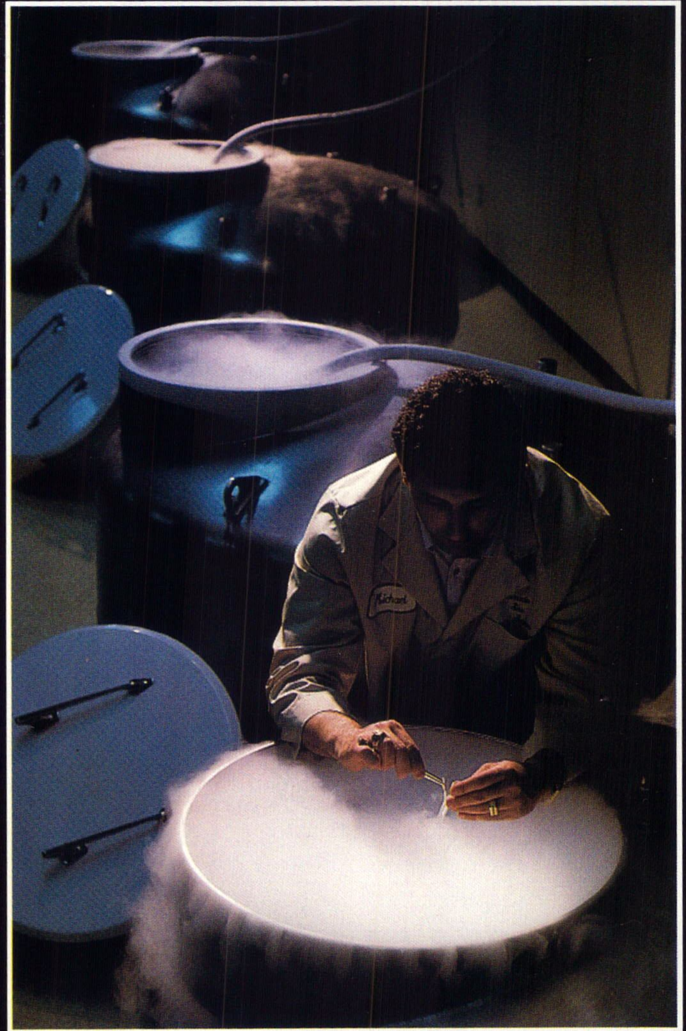




Cabras clonadas (*à direita, em cima*) representam um avanço nas técnicas de reprodução. O material genético de animais premiados é enxertado em óvulos não-fertilizados e "mães de aluguel" produzem os filhotes com as características desejadas. A fusão das células de um carneiro com as de uma cabra resultou num animal que reúne traços das duas espécies (*à direita*).

ZOOLÓGICOS CONGELADOS

O congelamento de sêmen, óvulos e embriões é usado para preservar os recursos genéticos de espécies ameaçadas e de animais premiados ou de alta qualidade. Os tambores de nitrogênio líquido (*à direita*), por exemplo, guardam o sêmen de touros campeões. Os zootécnicos, cientistas especializados na criação e aperfeiçoamento de animais, desenvolveram o processo de criopreservação, ou conservação pelo frio, para produzir seletivamente vacas leiteiras ou gado de corte por meio de inseminação artificial. Diversos zoológicos em todo o mundo estão usando essa tecnologia para proteger espécies de animais ameaçados de extinção. Células vivas congeladas a uma temperatura de 231,67°C negativos são guardadas em cilindros acondicionados em nitrogênio líquido. As células de animais ameaçados, como o gauro (espécie de boi selvagem da Índia), o condor ou o leopardo da neve, são mantidas nesse "estado de suspensão animada" até que sejam necessárias para pesquisas ou para a procriação. "Se alguém tivesse feito isso com os dinossauros, por exemplo, possivelmente poderíamos trazê-los de volta à vida", afirma Betsy Dresser, diretora de



O sêmen de touros premiados é guardado em nitrogênio líquido



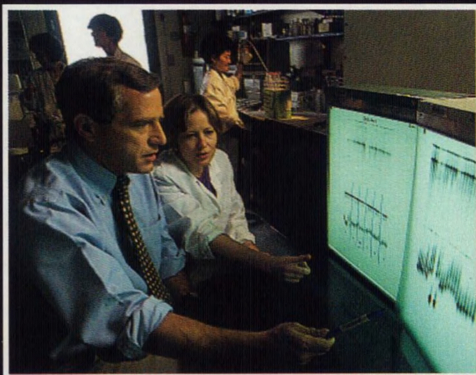
Os tecidos desse inseto fóssil preservado em âmbar ainda retêm pedaços de DNA. Os cientistas comparam o DNA extraído de fósseis como esse ao de seus descendentes vivos. As informações resultantes podem ser usadas para avaliar as mutações genéticas e reconstituir a história da evolução das espécies estudadas.



Coleta de amostras de DNA de tartarugas

pesquisas do Centro de Reprodução de Animais Ameaçados do Zoológico de Cincinnati, em Ohio, EUA. "Os zôos congelados literalmente podem salvar uma espécie da extinção", garante a cientista.
O Centro de Reprodução foi pioneiro num processo chamado transferência de embriões interespécies. No caso, uma gata doméstica foi usada como "mãe de aluguel" para dar à luz um raro gato indiano do deserto. Em outro projeto, veterinários do Zoológico de San Diego, na Califórnia, imobilizam uma tartaruga gigante das ilhas Galápagos (*acima*) para colher seu sangue e tirar amostras de DNA.
Os cientistas têm esperança de aumentar a decrescente população de tartarugas gigantes nas Galápagos. Esses grandes animais evoluíram separadamente em cada uma das ilhas do arquipélago e foram selecionados de acordo com suas características hereditárias que melhor se adaptavam às diversas condições locais.
Com as amostras de sangue, os cientistas produzem perfis de DNA que podem revelar essas distinções hereditárias. Assim, ao comparar o perfil de DNA das tartarugas mantidas em cativeiro com o dos animais em liberdade, os pesquisadores esperam repovoar as ilhas com as espécies certas.

Células congeladas de espécies ameaçadas de extinção



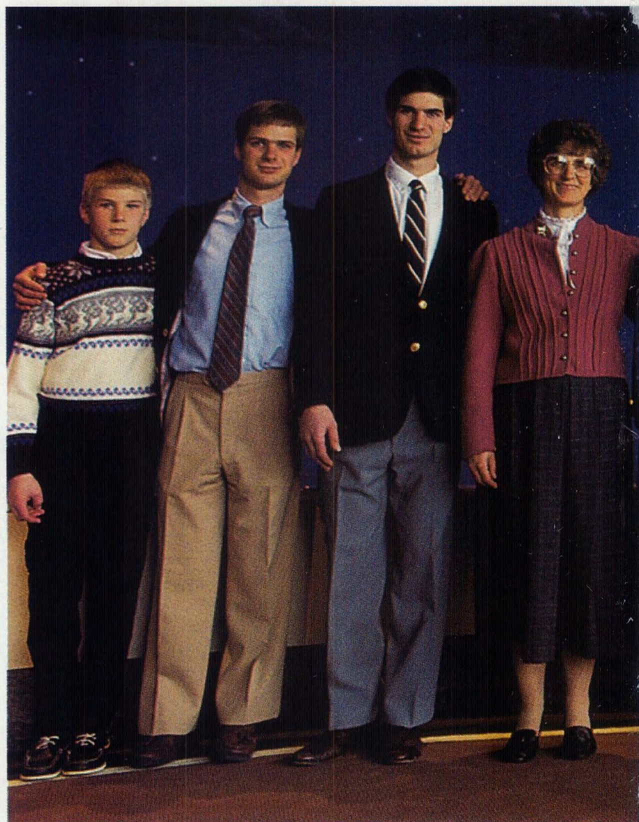
Ao comparar os padrões genéticos de famílias que incluem homossexuais masculinos entre seus membros aos padrões do público em geral, uma equipe de cientistas descobriu indícios que ligam a homossexualidade aos genes. No Instituto Nacional de Saúde dos Estados Unidos, o bioquímico Dean H. Hamer e uma colega de pesquisas, à caça do suposto gene, analisam uma espécie de radiografia de padrões genéticos à procura de possíveis indicadores compartilhados por homossexuais.

chamado síndrome de Wiskott-Aldrich. E estava na incômoda posição de explicar à mãe da criança que era muito pouco o que os médicos do NIH poderiam fazer. "O mais difícil na minha profissão é justamente isso, comunicar às pessoas que não há nada a fazer por elas."

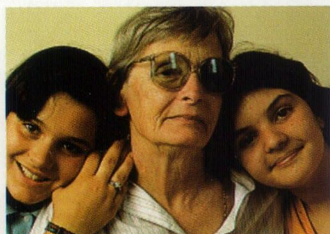
Mesmo assim, R. Michael Blaese tem consideravelmente mais a oferecer hoje do que em 1990, quando ele e os colegas do NIH, W. French Anderson e Kenneth W. Culver, tornaram-se os primeiros no mundo a tentar substituir um gene danificado em um ser humano – procedimento conhecido como terapia genética. Na medida em que mais genes ligados a doenças iam sendo descobertos, os cientistas começaram a estudar a viabilidade de substituir os genes danificados ou enxertar os inexistentes.

Um grupo de cientistas do NIH se concentrou numa grave disfunção imunológica conhecida como Deficiência ADA, na qual as crianças afetadas não têm o gene da enzima adenosina deaminase. Sem ele, as toxinas se





No perfil de DNA da família Guertler, de Salt Lake City, EUA, segmentos de DNA herdados pelos integrantes do grupo aparecem como manchas escuras. O genótipo do pai é C e E; o da mãe B e F. Os filhos herdaram uma letra de cada um deles em combinações diferentes. Geneticistas usam as cuidadosas árvores genealógicas feitas pelos mórmons para confirmar parentescos revelados pela análise do DNA.



DNA E HEREDITARIEDADE

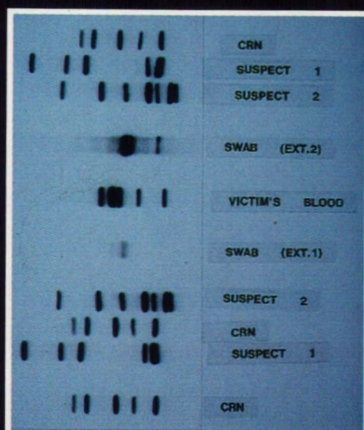
Pista quase infalível de identidade, o perfil do DNA revela certas sequências químicas ao longo de um filamento. Esses perfis estabelecem laços hereditários e já ajudaram a reunir crianças sequestradas a suas verdadeiras famílias (*à esquerda*).

acumulam, envenenando as células sanguíneas. "Basicamente, essas crianças suicidam seus sistemas imunológicos", explica Blaese. Elas são obrigadas a viver num ambiente de isolamento completo para garantir a assepsia. Esse é o caso de David, conhecido como o "menino da bolha", que morreu em 1984.

David não viveu o bastante para se beneficiar de uma terapia genética, mas o enfoque dado à Deficiência ADA foi inspirado em casos como o dele. A equipe do NIH aproveitou um microrganismo conhecido como retrovírus, que não apenas tem a capacidade de infectar células humanas, como também a de inserir seu volume de informações genéticas na própria "biblioteca" de DNA da célula. Usando o vírus como uma espécie de "bíblia de contrabandista", os cientistas apagaram parte de seu texto genético e inseriram o gene da ADA, a enzima que faltava. A seguir, colheram glóbulos brancos do sangue de uma menina com a doença e permitiram que os vírus alterados infectassem as células, levando com eles o gene ausente. As células contaminadas multiplicaram-se para cerca de um bilhão e foram reintroduzidas na paciente, num processo semelhante ao de uma transfusão de sangue.

O experimento culminou no dia 14 de setembro de 1990. A paciente, uma menina de 4 anos chamada Ashanthi DeSilva, sofria de infecções seguidas e era tratada com antibióticos com frequência. "Seu sistema imunológico funcionava muito mal", conta Blaese. As células alteradas





A biologia molecular é um dos modernos recursos utilizados pela criminologia. Os técnicos comparam o padrão encontrado numa série de perfis do DNA de um suspeito ao de uma amostra de DNA colhida no local do crime. Se houver coincidência, isso pode ser usado como prova. Existem enzimas que cortam o DNA em pontos específicos, onde há uma determinada sequência das substâncias químicas A, T, C e G. Como cada pessoa tem uma sequência única dessas letras, o tratamento enzimático originará diferentes segmentos de DNA para diferentes pessoas. Para fazer a análise, os dois filamentos interligados dos segmentos de DNA são separados por meio de processos químicos. Em seguida, cada um dos filamentos é unido a sondas radiativas feitas de DNA sintético que apresentam um filamento único. Os padrões obtidos são registrados em radiografias que lembram os códigos de barra – com elas é que são feitas as comparações.

foram reinjetadas na criança. Quase quatro horas depois, seu sistema imunológico funcionava normalmente. "Um ano após o início da terapia, os pais de Ashanthi se convenceram de seu progresso e a matricularam num jardim de infância público", conta Blaese. "Hoje, ela já está no 1º Grau e muito bem de saúde."

Graças aos sucessos iniciais, a terapia genética tornou-se uma das áreas mais "quentes" das pesquisas médicas na década de 90. No início de 1994, havia quase 70 abordagens experimentais distintas em andamento ou já aprovadas. Seu teste mais sério talvez tenha sido com três recém-nascidos da costa oeste dos Estados Unidos, que tinham herdado a Deficiência ADA. Bebês oferecem uma oportunidade única para se conseguir uma cura genética permanente. O cordão umbilical é rico em células embriônicas – as avós das células, das quais derivam todas as células sanguíneas, inclusive as imunológicas danificadas pela Deficiência ADA. Durante um curto período de tempo após o nascimento, essas células circulam pelo corpo do bebê antes de migrar, de forma permanente, para a medula óssea. Em maio de 1993, aproveitando esse breve período de tempo útil, os médicos usaram o retrovírus contendo o gene ADA para infectar células do sangue colhido do cordão umbilical, que depois foram reinjetadas nas crianças. Se os genes conseguirem chegar a qualquer uma das células embriônicas –, e há indícios de que isso aconteceu – as três crianças poderão levar vidas normais.

"Existe uma expectativa enorme quanto a esta tecnologia", admite Blaese. "Mas tendemos a ficar muito empolgados com coisas novas antes de elas serem comprovadas. Minha bola de cristal anda meio embaçada quanto ao que realmente vai acontecer", afirma.

Uma das tarefas mais difíceis, científica e socialmente, é resistir à tentação de rotular todas as doenças e seus tratamentos como sendo de cunho genético, especialmente porque grande parte da atual pesquisa na área também leva em conta fatores ambientais. Em breve, uma grande quantidade de informações sobre genes será acessível a todos nós. Em seu recente livro *Signs of Life*, Robert Pollack afirma que essa nova capacidade chegou com muita rapidez: "É como se acabássemos de decifrar algumas palavras num novo idioma e começássemos a reescrever textos antigos antes mesmo de compreender todo o seu significado".

Mas quando poderemos usar esses textos para fazer escolhas tais como com quem vamos casar, se teremos ou não filhos, e como viveremos nosso dia-a-dia? Para uma determinada comunidade, esse tempo já chegou. Começou há uma década, na Escola de Medicina Mount Sinai, em Nova York, quando o geneticista Robert Desnick informou a Joseph Ekstein

O DNA EM CRIMINOLOGIA

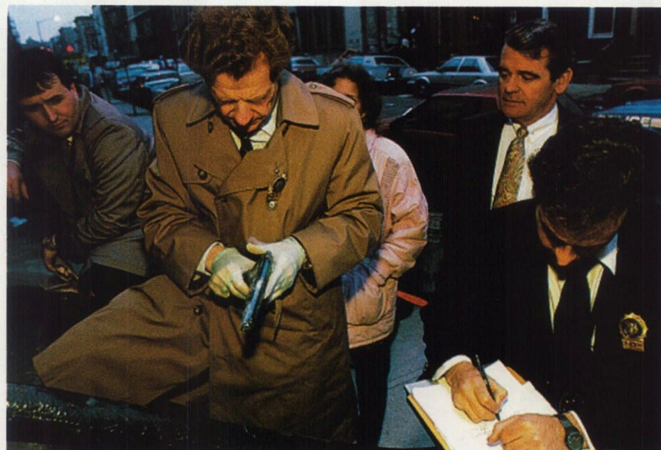
A comprovação da culpa ou da inocência de alguém pode depender de testes de DNA. Já que não existem duas pessoas com a mesma configuração genética, um perfil do DNA colhido de amostras de sangue ou cabelos e apresentado como prova pode apontar a identidade de um criminoso.

que seu filho recém-nascido era portador da doença de Tay-Sachs – grave disfunção neurológica que provoca o retardamento mental e, em geral, mata antes dos 5 anos.

Os judeus ashkenazi, originários da Europa Central e do Leste, têm uma incidência muito elevada dessa doença hereditária e três outros filhos dos Ekstein já haviam morrido desse mal.

Interessado em ajudar, Ekstein colaborou com Desnick na criação de um programa pré-nupcial de exames genéticos, chamado "Dor Yeshorim", para membros adolescentes da comunidade judaica ortodoxa. O teste para diagnosticar se o indivíduo é portador do gene para a doença de Tay-Sachs deve ser feito no início de um relacionamento amoroso. Segundo o diretor do programa, Howard Katzenstein, se ambos possuírem o gene, podem optar por não casar ou não ter filhos. Atualmente, 50 mil jovens de Israel, Estados Unidos, Canadá e Europa já foram testados. Além disso, médicos da Escola Mount Sinai vêm examinando casais da vasta comunidade ashkenazi de Nova York em busca de três genes diferentes – os que causam a fibrose cística e as doenças de Tay-Sachs e de Gaucher.

A disposição da população em ser testada pode abrir o caminho para a última fronteira da medicina molecular, a da "medicina preventiva". Isso significa analisar cada indivíduo para ver se ele é portador de genes que causam doenças e oferecer-lhe a oportunidade de evitar, prevenir ou tratar disfunções genéticas.



Policiais presentes no local de um tiroteio (*acima*) procuram pistas. Uma técnica (*embaixo, à esquerda*) retira amostras de uma camisa ensanguentada. O perfil de DNA constitui uma nova arma contra o crime.



Texto adaptado do ensaio de Stephen S. Hall para o livro Frontline of Discovery da National Geographic Society Book Division. Stephen S. Hall, autor de Mapping the Next Millenium, escreve sobre biologia molecular e história da ciência. Fotos localizadas segundo as iniciais: (a)= em cima, alto da página; (b)= embaixo; (e)= à esquerda; (c)= no centro; (d)= à direita. O complemento dos créditos das fotos segue as seguintes abreviaturas: PA= Peter Arnold, Inc.; TIB= The Image Bank; PR= Photo Researchers; SPL/PR= Science Photo Library/Photo Researchers. Capa e contracapa: Jim Richardson/Westlight. Página 2: (a, e) Brownie Harris/The Stock Market; (a, d) Günter Beer/Visum; (b) Sepp Seitz/Woodfin Camp & Assoc. Página 3: (a) George Olson /Woodfin Camp & Assoc.; (c) Chris Johns; (b) Peter Menzel. Página 4: Art Montes De Oca/FPG Int'l. Página 5: (a) Phil Matt; (c) Gerd Ludwing/Woodfin Camp Assoc.; (b) Jonathan Craymer/Rex Features. Página 6:(e)Karl Hartmann/Sachs/Phototake; (d) Louie Psihoyos/Matrix. Página 7: (a) Peter Menzel; (b) Hank Morgan/Rainbow. Página 8: (a) Dennis Brack/Black Star; (e) Mark R. Holmes, Univ de Utha, Dept. de Genética Humana. Páginas 8 e 9: Peter Menzel. Página 9: Peter Menzel. Página 10: Larry Mulvehill/PR. Página 11: Peter Menzel.



NOVOS MATERIAIS I

- AS FIBRAS ÓTICAS
- OS SUPERCONDUTORES
- NOVAS LIGAS METÁLICAS

DOBRE NA LINHA PICOTADA E DESTAQUE

A Aventura do Conhecimento



NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



Estadão. Plugado no mundo.

Novos Materiais I

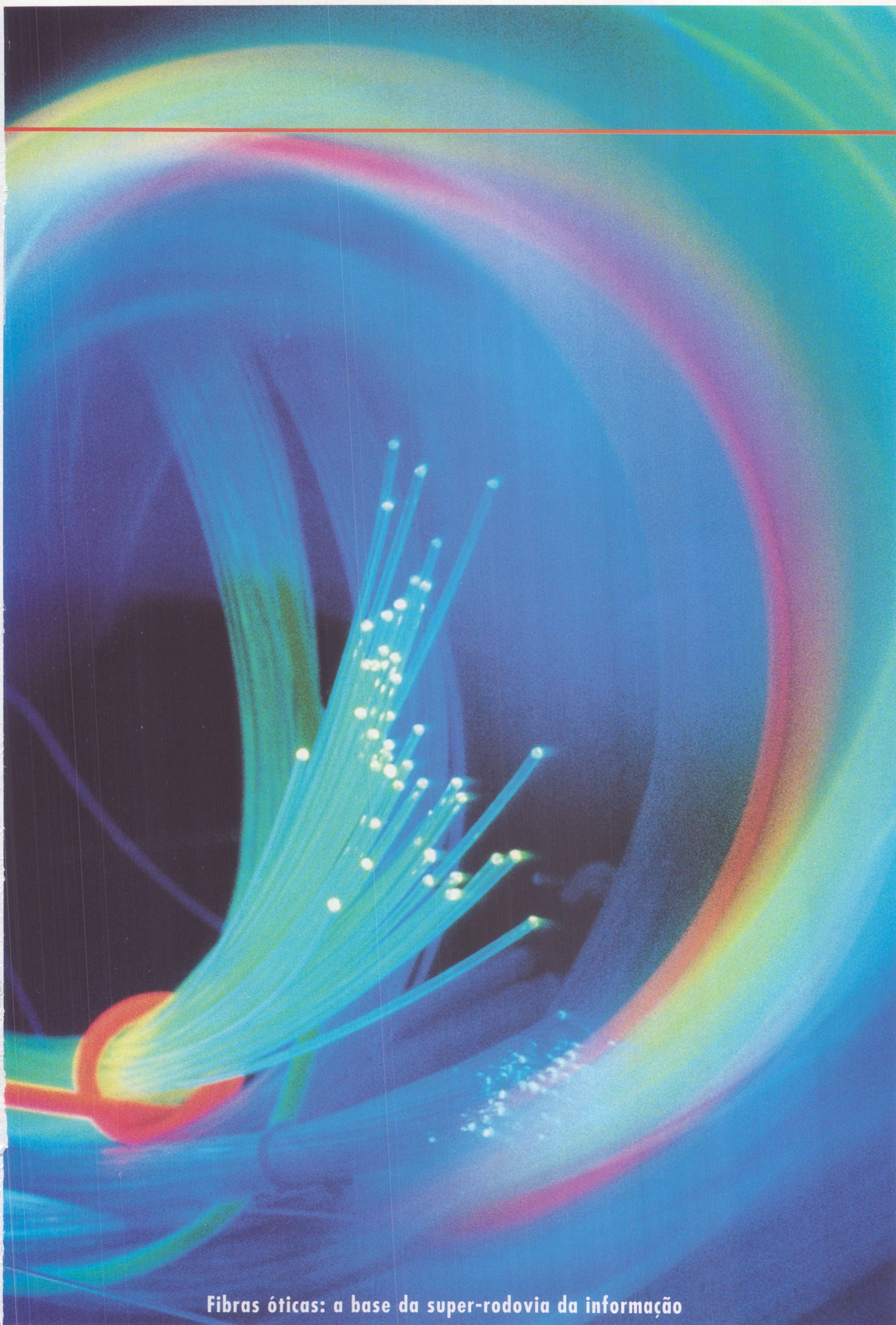
Coordenação editorial Klick editora

NOVOS MATERIAIS

por Robert Friedel

Uma das primeiras coisas que as crianças descobrem é que os objetos a sua volta são feitos de materiais diferentes. Um bloco de madeira é mais duro e pesado do que um de plástico e um prato de papel, quando cai no chão, não quebra como um de louça. De impressões simples como essas nascem conceitos que nos acompanham por toda a vida. Supomos que um determinado material se comportará de uma forma e não de outra, e que certas substâncias são apropriadas apenas para algumas coisas. Até mesmo as crianças raramente se perguntam por que uma barra de ferro é tão pesada e dura, enquanto uma outra, de borracha, é macia e flexível.

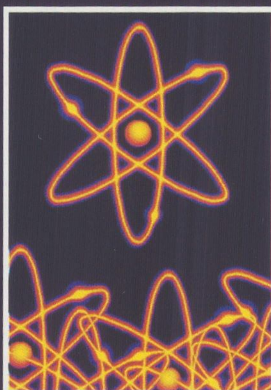
Capa: Um macacão feito de *kevlar*, um polímero resistente e leve, é testado nas chamas



Fibras óticas: a base da super-rodovia da informação



A maioria de nós simplesmente aprende a conviver com os materiais existentes, sem questioná-los. Os pesquisadores de materiais agem de outro modo. Como alquimistas modernos, eles se perguntam por que os materiais se comportam dessa ou daquela forma, e, quando começam a obter respostas, fingem que tudo é muito natural e criam outros, que reagem de maneira inédita. Essas substâncias avançadas dão origem a uma gama de novas tecnologias – de aviões mais seguros e velozes a válvulas para o coração que podem prolongar por décadas a vida das pessoas. Às vezes, os resultados são admiráveis: ligas metálicas tão maleáveis que podem ser transformadas em bolhas; um componente de cerâmica, usado no motor de um carro, que não derrete nem racha; tecidos que resistem a balas, ou, ainda, um tipo de vidro tão puro e transparente que é possível olhar através de um pedaço de 160 quilômetros de espessura sem perceber que ele está lá. São inúmeras as inovações. Algumas podem ser menos surpreendentes, mas são igualmente importantes para a economia, o conforto, o equilíbrio ecológico e a saúde do planeta.



O diagrama clássico de um átomo mostra elétrons em órbita do núcleo. A organização atômica, porém, é muito mais complexa: o núcleo é formado por partículas minúsculas, os prótons e os nêutrons, que, por sua vez, são compostos por partículas ainda menores – os quarks.

Pare um momento e olhe para o que você está lendo: foi escrito, editado e publicado com a ajuda de computadores supermodernos. Não importa se os equipamentos são enormes ou pequenos *laptops*, o fato é que todos dependem dos chamados microprocessadores – os minúsculos chips dos computadores, que são o coração da eletrônica moderna. Esses chips são fabricados com cristais de silício e pequenas quantidades de outros elementos. O silício, um excelente material para conduzir as cargas negativas de um átomo, os elétrons, é um semicondutor.

Por seu tamanho reduzido e incrível velocidade de processamento, os chips provocaram uma revolução no campo da microeletrônica. Sem essa capacidade de fazer e modificar cristais de silício – uma façanha inacreditável que químicos e cientistas especializados em materiais

A MATÉRIA

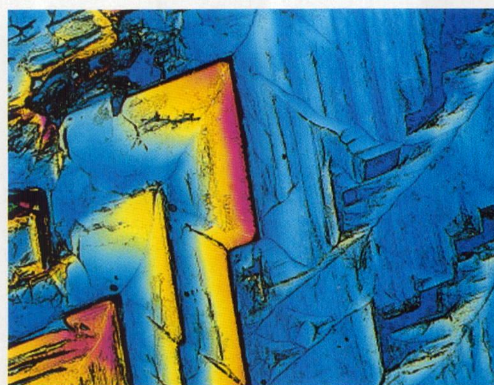
Pesquisas modernas penetraram no mundo secreto dos átomos, as unidades básicas da matéria. Com tecnologias e ferramentas novas cientistas transformam essas partículas em materiais e tecnologias do futuro.

realizaram há quase 40 anos –, as maravilhas eletrônicas que hoje estão integradas a nossa vida simplesmente não existiriam. É por essa razão que a possibilidade de novos avanços tecnológicos – os supercondutores, os compostos de metal e cerâmica ou máquinas tão diminutas que só podem ser percebidas numa escala atômica – é recebida com tanta empolgação. Mesmo assim, é difícil prever como um material inédito será usado e se os obstáculos, como custos e tecnologia, serão vencidos.

A chamada supercondutividade – a propriedade de um meio condutor de não oferecer resistência ao fluxo de eletricidade – foi descoberta em 1911, mas o fenômeno só ocorria a temperaturas extremamente baixas. Para agir como supercondutores, os metais tinham de ser imersos em hélio líquido à temperatura de 4 Kelvin (ou 269° C negativos – o ponto zero da escala Kelvin, 0 K, é o zero absoluto e equivale a 273,16° C negativos). Com isso, o processo ficava muito caro e impraticável para ser usado no cotidiano.

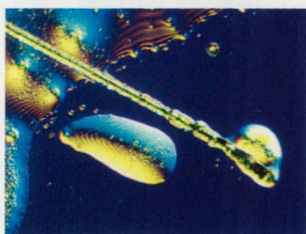
No início de 1986, os físicos Karl Alex Müller e Johannes Georg Bednorz, da IBM, em Zurique, esfriaram um pedaço de cerâmica composta de cobre, bário e terras raras de óxido de lantânio, e observaram que ele perdia a resistência elétrica a 30 K (ou 243° C negativos). A descoberta estimulou o mundo científico a investir na procura de supercondutores ainda melhores, que funcionassem em temperaturas mais altas.

Um ano mais tarde, uma equipe chefiada pelo físico Paul Chu, da Universidade de Houston, substituiu o lantânio por um composto de ítrio, um outro elemento químico. A "receita" de Chu perdeu resistência a 93 K (180° C negativos), bem acima da temperatura do nitrogênio líquido, de 77 K (196° C negativos). A descoberta foi extremamente importante porque o nitrogênio é uma substância abundante, mais fácil de ser esfriada do que o hélio e garante um custo mais baixo para o processo. Um supercondutor que funcionasse acima de 77 K prometia sair



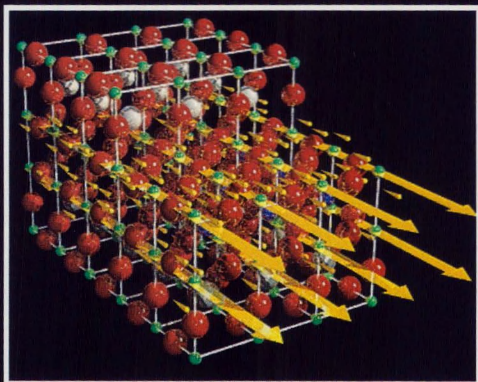


Na maioria das coisas inanimadas, a matéria sólida consiste de cristais interligados numa estrutura ordenada. Cristais de sal de Epsom ampliados (*ao lado, em cima*) revelam faces lisas e pontiagudas. A imagem inferior mostra um cristal derretido. Numa câmara de bolhas, partículas em movimento, pequenas demais para serem vistas (*página ao lado, acima*), criam trilhas visíveis dentro de um líquido superaquecido sob pressão. Os cientistas usam essas câmaras para estudar o comportamento das partículas subatômicas.

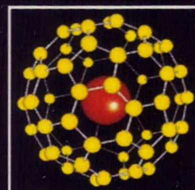


SUPERCONDUTORES

Eles estão na linha de frente das pesquisas e despertam sonhos fantásticos, como trens que não se movimentam sobre trilhos, mas flutuam no ar sustentados por forças magnéticas. Os supercondutores prometem ser um meio econômico e confiável para o livre fluxo de eletricidade.



Elétrons disparam por uma cerâmica que perde resistência a 93 K (180° C negativos). O modelo (*à esquerda*) representa a estrutura atômica de um material hipotético chamado IBCO – iniciais de ítrio, bário e cobre, que aparecem nos tons azuis e cinza, e do oxigênio, em vermelho. O carbono (*acima, em forma de cristal*) promete ser um excelente supercondutor em sua recém-descoberta estrutura de *buckyball* (*à direita, em cima*) ou *buckytubo* (*à direita, embaixo*).





do laboratório para a vida das pessoas. Essa promessa não só sacudiu os mundos da ciência e da engenharia, como também atraiu a atenção da imprensa, da indústria e dos governos de um modo sem precedentes. Como se dizia entre os pesquisadores: Chu bateu o recorde da supercondutividade.

"Parece que estamos à beira de uma nova era tecnológica", escreveu Robert Hazen, um cientista de materiais e escritor da Carnegie Institution, de Washington, D.C. "Assim como os microprocessadores, os supercondutores também entrarão gradativamente na nossa vida", diz Hazen.

A expressão "supercondutores de alta temperatura" transformou-se na senha mágica dos anos 90, capaz de fazer aparecer volumosas verbas para pesquisas. Além disso, também deu asas a nossas fantasias sobre trens voadores que viajam por levitação magnética a uma velocidade de 480 quilômetros por hora; eletricidade barata que pode ser armazenada à vontade e motores altamente eficientes. As dificuldades, porém, têm sido grandes e desanimadoras. Muitas vezes, as peças de cerâmica dos supercondutores de alta temperatura são quebradiças, imprevisíveis e caprichosas. Tendem a perder sua supercondutividade assim que uma corrente elétrica mais forte lhes é aplicada, e não têm a flexibilidade necessária para ser moldadas em formas úteis, como espirais ou fios elétricos.

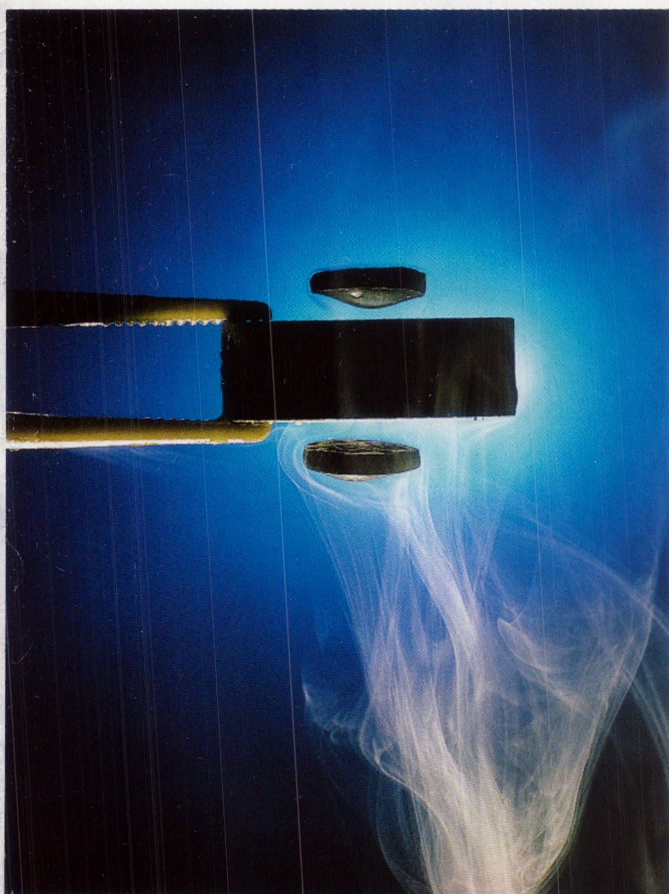
Mas há diversas abordagens inovadoras em andamento para se tentar vencer esses obstáculos. No Massachusetts Institute of Technology (MIT), o cientista John B. Vander Sande e seus colegas estão fabricando fios elétricos com substâncias metálicas facilmente moldáveis que, em seguida, são oxidados e transformados em supercondutores cerâmicos.

Num outro laboratório, o engenheiro químico Jack Howard, também do MIT, explora o potencial de materiais de carbono puro, chamados *fullerenes* ou *buckyballs* – homenagem ao engenheiro Buckminster Fuller –, como supercondutores de alta temperatura. É possível que a indústria também possa fabricar em grande escala tubos compridos de átomos de carbono a um custo barato o suficiente para ser comercialmente viável. Esses

buckytubos seriam extremamente resistentes e, em condições adequadas, poderiam ser usados em cabos elétricos supercondutores.

Depois de mais de cinco anos de intensas pesquisas, os cientistas ainda não chegaram a uma teoria que explique o comportamento dos supercondutores de alta temperatura. Também não existe um consenso quanto à melhor maneira de transformar esses materiais em produtos comercialmente acessíveis. Por enquanto, os trens de alta velocidade, os sistemas confiáveis de transmissão de eletricidade e os computadores ultra-eficientes prometidos pelos supercondutores de alta temperatura baratos continuam fora do nosso alcance. Mas, quando o sucesso finalmente for (*continua na página 12*)

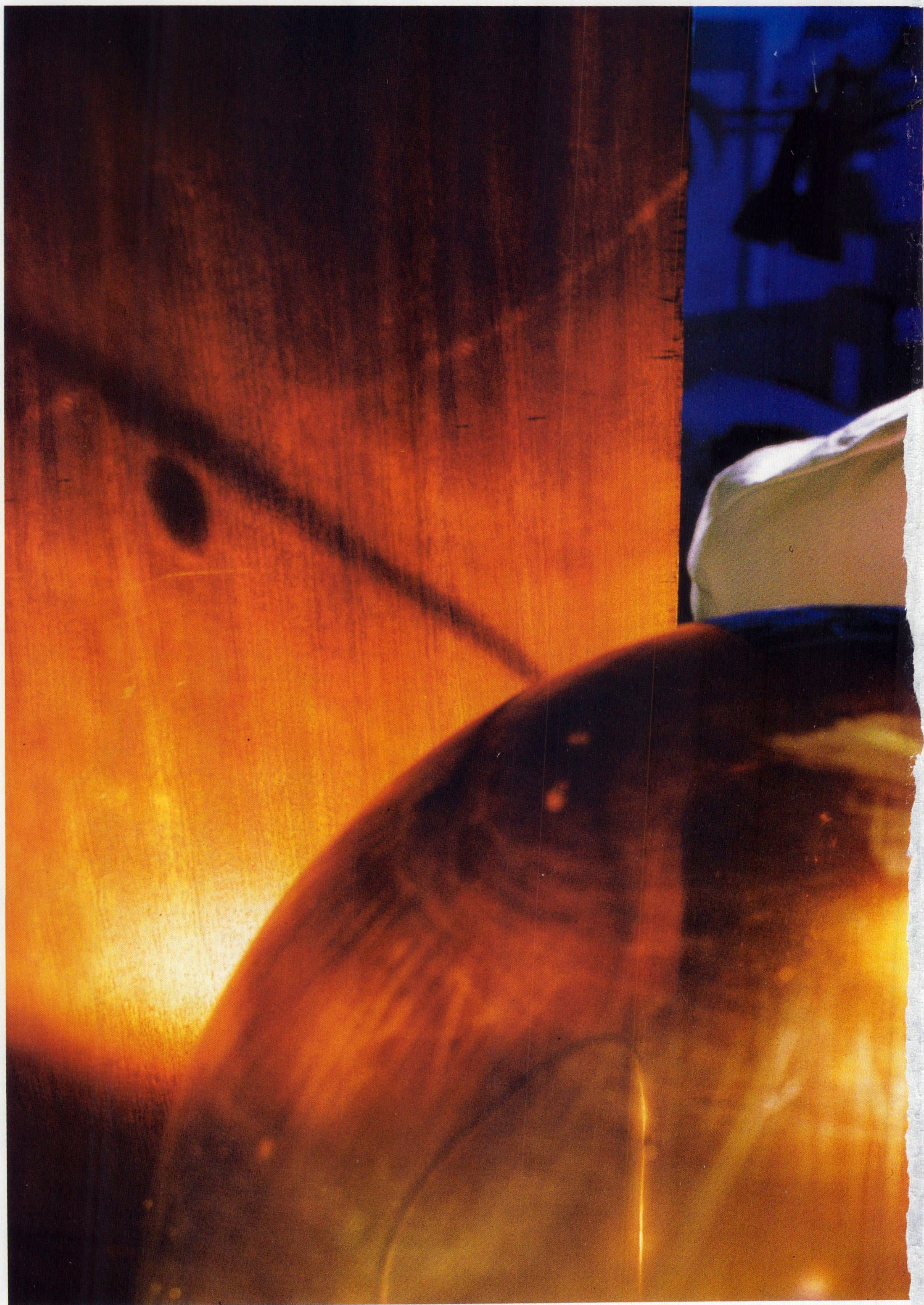




O trem experimental de levitação magnética do Japão (*acima*) alcança a velocidade de 8 quilômetros por minuto, flutuando 10 centímetros acima dos trilhos – mas os ímãs de levitação exigem o uso do caríssimo hélio líquido. Um supercondutor de cerâmica (*à esquerda*) envolto em vapor de nitrogênio líquido, mais barato, suspende ímãs acima e abaixo. A resistência existente nas atuais linhas de energia elétrica pulveriza bilhões de dólares sob a forma de eletricidade perdida. Os laboratórios testam muitas fórmulas (*embaixo*) na corrida para encontrar supercondutores de alta temperatura adequados.

Páginas seguintes: Um arco elétrico entre eletrodos de grafite cria *fullerenes* ou *buckyballs*, material feito de carbono puro, um dos possíveis supercondutores do futuro.







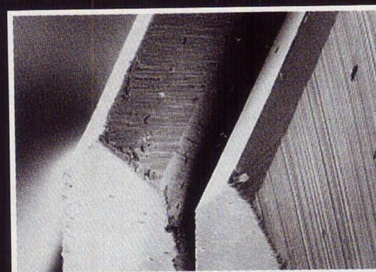
CERÂMICAS



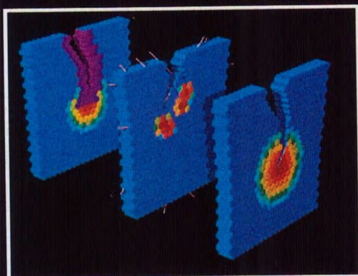
Óxido de alumínio

Ainda incandescente, com uma temperatura interna de 1200°C, o cubo de cerâmica de vidro (*página ao lado*) pode ser pego com a mão alguns segundos depois de sair do forno. Atingido por detritos em órbita, o ônibus espacial (*página ao lado, à direita, foto superior*) é revestido de placas de cerâmica de vidro. Nesse material, a parte sólida não ultrapassa 7 por cento. O resto é ar – um excelente isolante, que protege a espaçonave superaquecida durante sua reentrada na atmosfera terrestre. A era das cerâmicas de alta tecnologia começou há quase meio século, quando motores e turbinas de carros e aviões com alta taxa de compressão passaram a exigir isolantes mais avançados para suas velas de ignição. A resposta foi o óxido de alumínio (*acima, à esquerda*), uma substância que pode ser moldada, comprimida e aquecida a temperaturas muito elevadas, também usada em coletes à prova de balas, implantes dentários e pastilhas de microprocessadores.





Faca de cerâmica e lâminas de aço e cerâmica (*acima*)

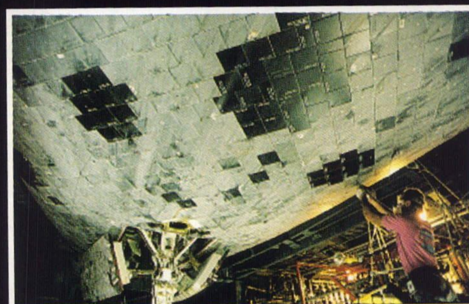


A fragilidade das cerâmicas, conhecida desde a Antiguidade, ainda não foi resolvida apesar de toda a tecnologia do século XX. Quando os átomos dos materiais cerâmicos são comprimidos em cristais rígidos, resistem a altas temperaturas e à abrasão, mas essa rigidez torna a cerâmica quebradiça. A imagem em primeiro plano mostra (*à esquerda*) como um pequeno defeito se transforma em rachadura e desenvolve um padrão circular de pressão. Numa cerâmica reforçada, no centro, fibras absorvem e desviam parte da energia da rachadura, reduzindo sua pressão. Na última cerâmica, dois tipos de cristais são usados para controlar os danos: quando a rachadura aumenta, um dos cristais começa a se expandir e, sob pressão, fecha o trincado.

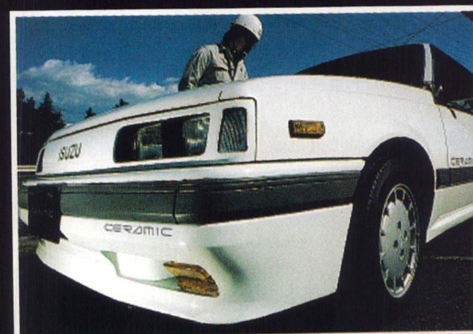
Atualmente, o Japão lidera a corrida na exploração da versatilidade dos materiais de cerâmica – aclamados como sendo "mais fortes do que o aço, quase tão duros quanto os diamantes e imunes a temperaturas super-elevadas". A empresa japonesa Kyocera Corporation começou sua linha de produção com artigos de uso doméstico: tesouras de cerâmica, canetas, facas para sushi. A porosa e translúcida faca Kyocera (*à esquerda, foto superior*) praticamente não precisa ser afiada. Visto por um microscópio, seu corte é mais liso do que uma lâmina de aço de alta qualidade fabricada na Alemanha. O Ceramic, carro esporte experimental da Isuzu (*embaixo*), ganhou seu nome graças às várias peças de

Um cubo de cerâmica de vidro logo após sair do forno



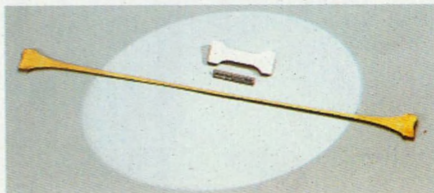


Proteção cerâmica em um ônibus espacial



Ceramic: um carro com peças de cerâmica

cerâmica em seu motor a diesel – pistões, válvulas, camisa do cilindro e turbo – elas pesam menos do que as de metal, funcionam em temperaturas mais altas, usam o calor para gerar potência e o motor não precisa de radiador. Enquanto os pistões impulsionam o carro da Isuzu, engenheiros americanos aperfeiçoam uma turbina cerâmica a gás – um sistema parecido com o dos aviões a jato.

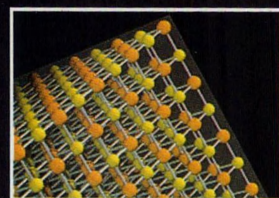


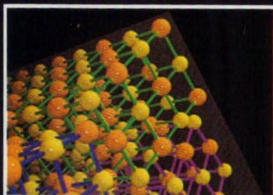
OS METAIS

A tecnologia de materiais avançou através do tempo e criou novas ligas metálicas, mais resistentes e maleáveis. O aço superplástico (*à esquerda*) pode ser esticado até atingir 11 vezes seu comprimento original.

obtido, os fios supercondutores serão fundamentais para uma infinidade de aplicações. Tal perspectiva fez dessa área de pesquisa uma das mais empolgantes da ciência dos materiais.

De acordo com o especialista Tom Forester, não há dúvidas de que os supercondutores chegaram para ficar e que, com o tempo, terão grande impacto sobre a tecnologia e a sociedade. A história dos semi e supercondutores nos ensina uma importante lição sobre o potencial desses novos materiais. Muitas vezes, sua maior aplicação não é a construção de coisas, mas a transmissão de energia ou informações. O cobre, que por mais de um século foi o material condutor básico empregado nas comunicações telegráficas e telefônicas, foi substituído pelo vidro, na forma de cabos de fibras óticas. Os sinais digitais nesses cabos transmitem muito mais informações do que em condutores de cobre de mesmo tamanho ou preço. Agora, os especialistas estão empenhados em fabricar novos tipos de vidro que reduzam ainda mais os custos das redes de fibras óticas. Esses vidros são tão puros que a luz pode percorrê-los por uma distância de 160 quilômetros sem registrar nenhuma perda.







Átomos de níquel e alumínio se alinham ordenadamente num único cristal (*ao alto*), formando uma nova liga de grande resistência. Combinações de cristais (*centro*) podem se fragmentar nas bordas. A rápida solidificação dá uma forma vitrificada aos átomos (*embaixo*) e altera suas propriedades.

Engenheiros como Lionel Kimerling, do MIT, querem desenvolver novos materiais de silício que conduzam os sinais luminosos com uma eficiência muito maior do que a do melhor vidro hoje existente. Para Kimerling, o silício é a chave do recente progresso tecnológico: "Nos últimos 35 anos, os instrumentos e circuitos eletrônicos feitos desse material cresceram em desempenho e baixaram de custo à razão de um milhão de vezes por um. Tamanha explosão de benefícios não tem paralelo na história de nenhuma tecnologia", garante o engenheiro.

Mas é preciso avançar mais, especialmente para concretizar ambições tão grandiosas como a chamada super-rodovia da informação, hoje considerada como vital para o sistema mundial de comunicação do século XXI. A eficiência de uma rede desse tipo depende de equipamentos muito mais rápidos e potentes do que os atualmente existentes. E, para isso, é preciso aperfeiçoar ainda mais os materiais de seus componentes.

TEXTO ADAPTADO DO ENSAIO DE ROBERT FRIEDEL PARA O LIVRO FRONTLINE OF DISCOVERY DA NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY BOOK DIVISION. ROBERT FRIEDEL É PROFESSOR DE TECNOLOGIA E HISTÓRIA DA UNIVERSIDADE DE MARYLAND, EM COLLEGE PARK, E AUTOR DE VÁRIOS LIVROS SOBRE NOVOS MATERIAIS. FOTOS LOCALIZADAS SEGUNDO AS INICIAIS: (A)= EM CIMA, ALTO DA PÁGINA; (B)= EMBAIXO; (E)= À ESQUERDA; (C)= NO CENTRO; (D)= À DIREITA. O COMPLEMENTO DOS CRÉDITOS DAS FOTOS SEGUE AS SEGUINTES ABREVIATURAS: PA= PETER ARNOLD, INC.; TIB= THE IMAGE BANK; PR= PHOTO RESEARCHERS; SPL/PR= SCIENCE PHOTO LIBRARY/PHOTO RESEARCHERS. CAPA: CHARLES O'REAR/WESTLIGHT. PÁGINAS 2 E 3: DOMINIQUE SARRAUTE/TIB. PÁGINA 4: (E) DIGITAL ART/WESTLIGHT; (D) MIKE & CAROL WERNER/COMSTOCK. PÁGINA 5: (A) ALFRED PASIEKA/SPL/PR; (B) MANFRED KAGE/PA. PÁGINA 6: (A, E) MICHAEL W. DAVIDSON/PR; (C, E) MELVIN L. PRUEITT, DADOS DE FRED MUELLER, LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY; (A, D) SCOTT CAMAZINE/PR; (B, D) BIOSYM TECHNOLOGIES INC./SPL/PR. PÁGINA 7: (TODAS) CHARLES O'REAR/WESTLIGHT. PÁGINAS 8 E 9: GEOFF TOMPKINSON/SPL/PR. PÁGINA 10: (A, E & A, D) CHARLES O'REAR/WESTLIGHT; (B, E) MELVIN L. PRUEITT, DADOS DE VICTOR F. ZACKAY, LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY; (C, D) FRANK W. GAYLE E ALEXANDER J. SHAPIRO, NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. PÁGINA 11: (E & A, D) JAMES L. AMOS; (C, D) CHARLES O'REAR/WESTLIGHT. PÁGINA 12: (A) JAMES STOOTS/UNIV. DE CA, LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY; (E, TODAS) MELVIN L. PRUEITT.

NOVOS MATERIAIS II

- A SUPER-RODOVIA DA INFORMAÇÃO
- CARROS DE CERÂMICA E TRENS ULTRAVELOZES
- AS MÁQUINAS MICROSCÓPICAS

A Aventura do Conhecimento



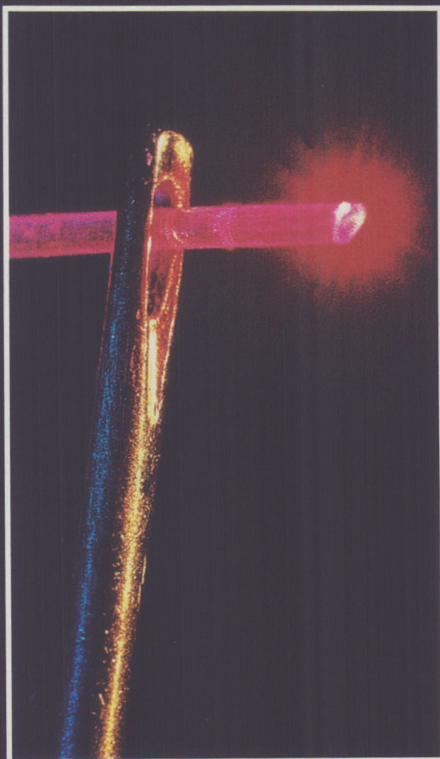
NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



Novos Materiais II

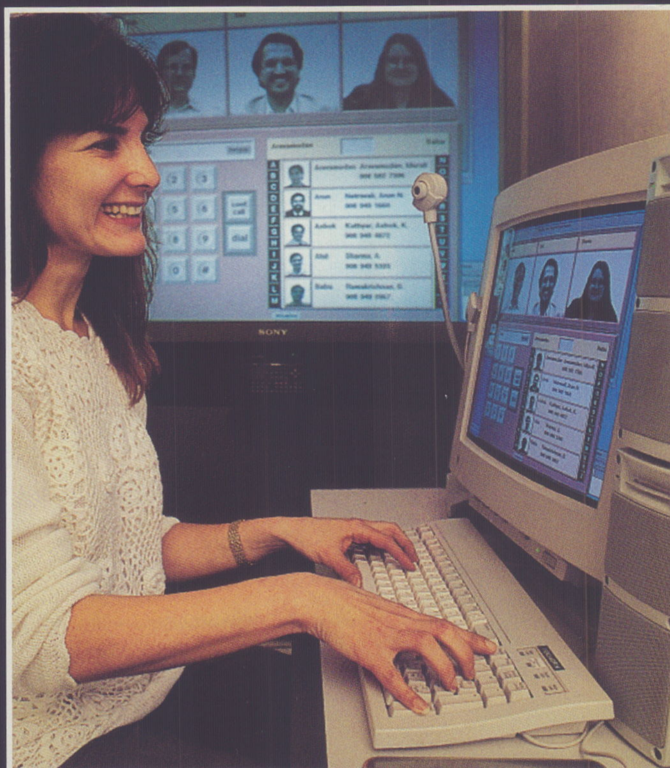
Coordenação editorial
klick editora



Fibra de vidro no buraco de uma agulha

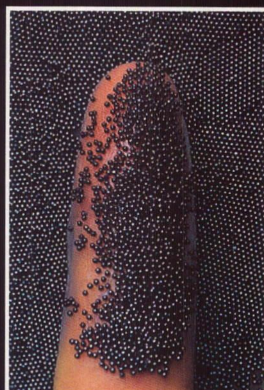
A super-rodovia da informação, ou infovia, está chegando. Ainda não está completa, mas algumas pistas de alta velocidade já foram inauguradas graças a fibras de vidro tão finas que podem passar pelo buraco de uma agulha. Em um único segundo, é possível transmitir as palavras de 200 livros por um desses fios de fibra ótica. Dois deles são capazes de processar simultaneamente 10 mil chamadas telefônicas. Numa demonstração simplificada feita pelos Laboratórios Bell, o curtíssimo tempo de exposição (*página ao lado*) torna visível como diferentes pulsações de luz e escuridão processam pedaços de informações por uma fibra. É por meio delas que um computador caseiro, ligado ao telefone via modem, pode nos levar a circular pela Internet, conversar com pessoas em 60 países, fazer ou responder perguntas e ter acesso ao conhecimento arquivado nas grandes bibliotecas e universidades do mundo. De acordo com o cientista de computadores Stephen Steinberg, "já existe o potencial para um banco global de 'cérebros', uma espécie de praça em que todos podem ser ouvidos". O avançado sistema de comunicação dos Laboratórios Bell (*embaixo*) mostra como os integrantes de um grupo de diversas partes do mundo vêem uns aos outros numa conferência virtual, com a ajuda de um computador, um telefone e uma pequena câmera de vídeo ao lado do monitor. As fibras óticas e os avanços mais recentes

Reunião virtual: uma conferência via multimídia



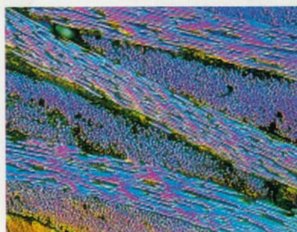
Capa: Um triciclo passa por um tipo de secagem não-poluente

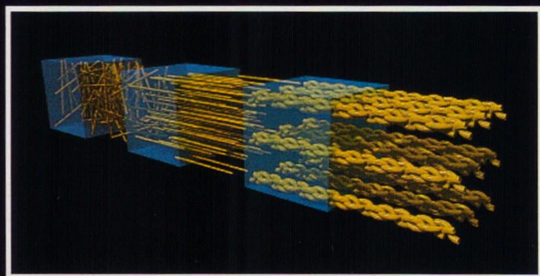
em transmissões digitais e compressão de sinais trouxeram para mais perto o dia em que as companhias telefônicas ou de TV a cabo poderão inundar a super-rodovia da informação com 500 canais que poderão oferecer desde filmes até a possibilidade de fazer compras sem sair de casa.



Um dos elementos químicos mais abundantes na natureza, o silício (*à esquerda*) é o principal ingrediente do vidro das fibras óticas. Novos materiais de silício, que transportem sinais de luz com mais eficiência do que o melhor dos vidros, são vitais para a infovia.

Codificadas num facho de luz, informações fluem por uma fibra ótica

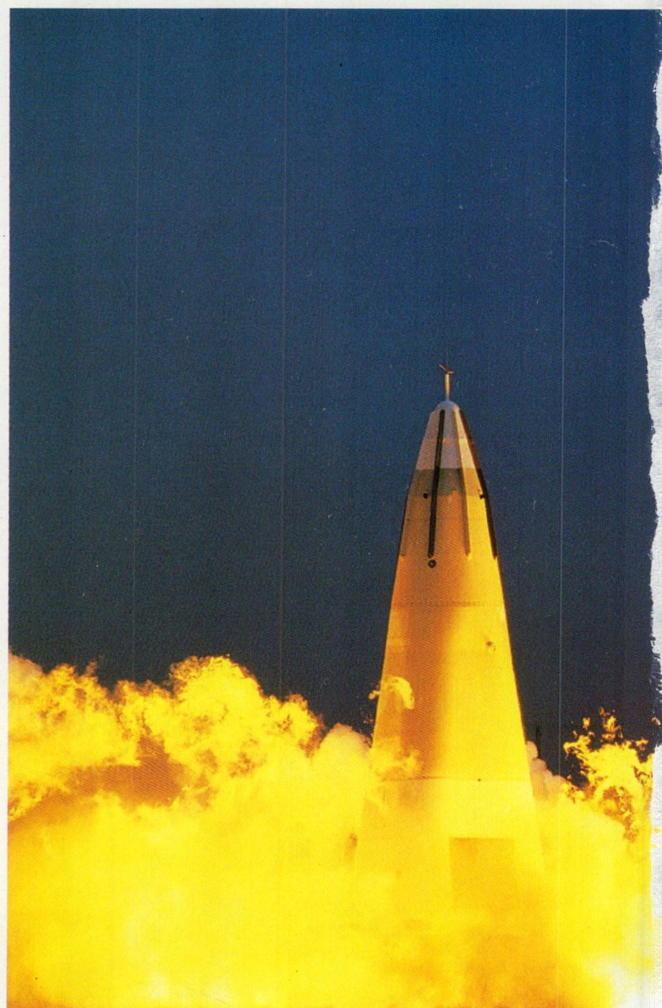




Espalhadas em desordem, empilhadas, trançadas ou organizadas em qualquer outro padrão, as fibras são a chave que faz dos compostos os mais resistentes de todos os materiais. Fibras paralelas em compostos de camadas múltiplas ajudam a diminuir o peso da estrutura de aviões e naves espaciais. O novíssimo jato Boeing 777, lançado comercialmente em meados de 1994, decolou com 1 170 quilos a menos do que os modelos anteriores graças a essa tecnologia.

Um dos aspectos extraordinários da ciência moderna é a manipulação da matéria em escala atômica. Há pouco mais de uma década, a sugestão de que poderíamos enxergar ou medir a matéria nessa escala era considerada impossível. A idéia de que átomos individuais poderiam ser isolados e transportados parecia ainda mais fantástica. No início dos anos 80, porém, físicos do laboratório da IBM, em Zurique, desenvolveram o microscópio de tunelamento por varredura (*scanning tunneling microscope*, STM), que suplantou todas as expectativas do que se poderia ver ou fazer em escala atômica. O STM e seu congênere, o microscópio de força atômica (*atomic force microscope*, AFM), permitem não apenas "ver" os átomos de um material, como também posicioná-los individualmente numa superfície. Em 1989, a IBM demonstrou essa capacidade ao isolar 35 átomos e ordená-los sob a forma do seu logotipo.

A possibilidade de explorar superfícies em escala atômica deu início aos esforços para a produção de vários materiais microscópicos. Para muitas pessoas, esse novo campo de trabalho, conhecido como nanotecnologia – o prefixo *nano* significa um bilionésimo –, será a técnica básica do setor de manufaturados no século XXI. "Manipular, observar e medir coisas com essa escala é muito empolgante. Poderemos



OS COMPOSTOS

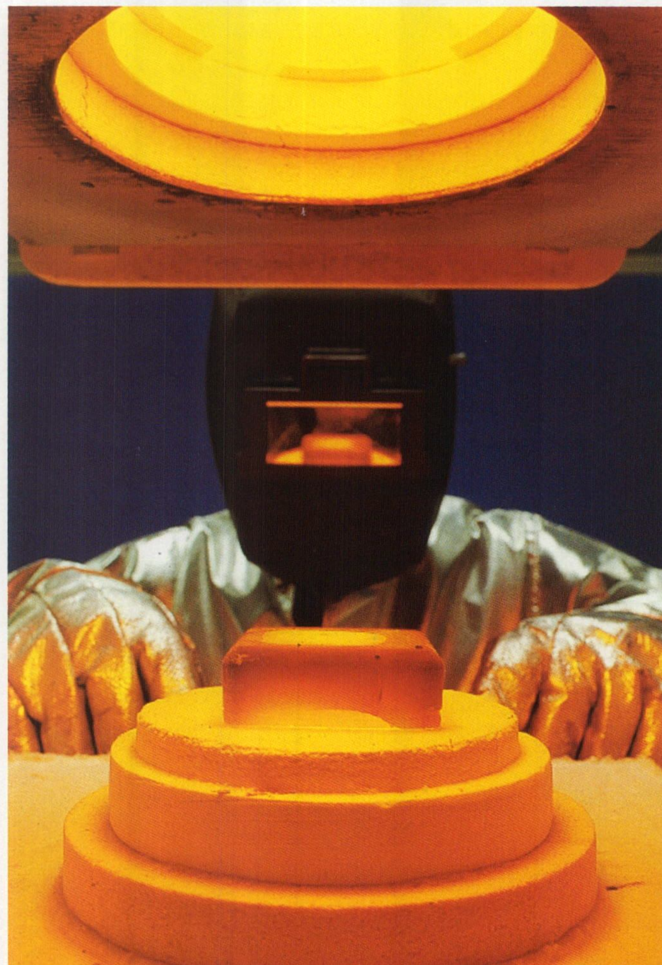
Diferentes materiais são combinados e misturados por sua leveza, resistência e pouco desgaste, e usados na fabricação de esquis, raquetes, tacos de golfe, carros e aviões. Fibras de vidro (*à esquerda*), ampliadas 62 vezes, formam listras embaçadas numa matriz de polipropileno.

criar dispositivos eletrônicos e mecânicos átomo por átomo", afirma John Armstrong, cientista-chefe da IBM.

A incrível idéia de criar mecanismos microscópicos não é pura fantasia. Pesquisadores dos Laboratórios Bell, da Universidade da Califórnia, em Berkeley, e da Universidade de Utah construíram motores elétricos do diâmetro de um fio de cabelo humano. Alguns desses dispositivos já têm aplicações especializadas, como medir a pressão em motores de automóveis ou investigar como as células do sangue saem da medula óssea para a corrente sanguínea.

Para K. Eric Drexler, um dos defensores dessa nova tecnologia, estamos rumando para uma era de manufatura molecular, com um controle profundo e econômico sobre a estrutura da matéria. "A nanotecnologia transformará por completo a tecnologia, a biotecnologia e a ciência de materiais, ao permitir a construção em grande escala de micromáquinas", diz Drexler. Nem todos concordam – há quem considere a nanotecnologia um conceito de ficção científica – e o debate sobre suas implicações é acirrado.

Algumas consequências do trabalho numa escala tão diminuta já começam a aparecer sob a forma de uma gama de materiais – de metais a cerâmicas. Muitas das propriedades importantes de uma substância, como resistência, elasticidade e durabilidade, dependem do tipo de ligação entre seus átomos ou moléculas.





Um *cermet* – material composto de cerâmica e metal – acaba de sair do forno (*à direita, foto superior*). Sua receita pode ser útil para a fabricação de peças submetidas a um desgaste intenso, como os rolamentos. Um cientista põe fogo num chip feito de camadas (*acima, foto inferior*) de metal tão finas que milhares delas juntas são comparáveis à espessura de um fio de cabelo humano. O protótipo do revolucionário foguete DC-X (*página ao lado*), tem toda sua estrutura construída com material reaproveitável.



A NATUREZA

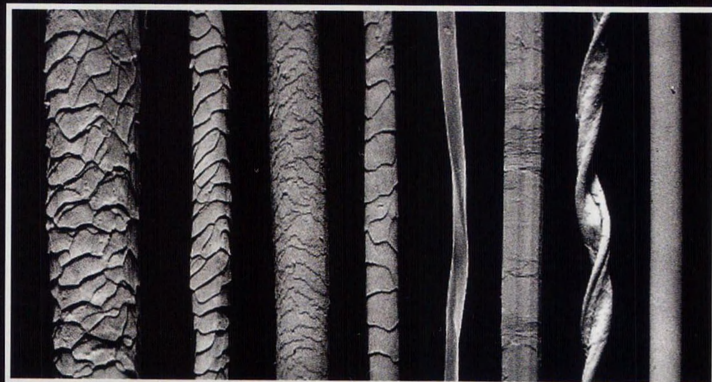
Chifres, conchas e teias de aranha (*à esquerda*) são compostos, cerâmicas e polímeros naturais que inspiram um campo de pesquisas inovador. Os pesquisadores procuram adaptar aos novos materiais que inventam algumas qualidades extraordinárias encontradas na natureza.

Na maioria dos sólidos, como metais e cerâmicas, essas partículas formam cristais que se agrupam em pequenos "grãos". O tamanho e a disposição desses grãos dão as características de um material. Se esses aspectos são modificados, surge outra substância, com novas propriedades.

O comportamento de diferentes tipos de aço, por exemplo, depende em grande parte da forma como os grãos de ferro, carbono e outros microelementos são distribuídos. Modernas tecnologias permitem comprimir esses grãos até cerca de um milésimo de seu tamanho no aço comum. Os chamados grãos nanofase de metal são tão microscópicos que não medem mais de dez micra de diâmetro (um mícron é igual à milionésima parte de um metro). O resultado é um material superdenso, muitas vezes mais resistente do que o metal tradicional. Aços ultra-resistentes e outras ligas menos nobres são amplamente utilizados em estruturas submetidas a extremo desgaste e que exigem grande confiabilidade, como pontes e plataformas de extração de petróleo. Outros tipos de aço de granulação superfina são ainda mais surpreendentes. Oleg Sherby, pesquisador da Universidade de Stanford, criou um aço superplástico tão maleável que dispensa a necessidade dos métodos tradicionais de soldagem – em seu estado mais plástico pode ser soprado em bolhas.

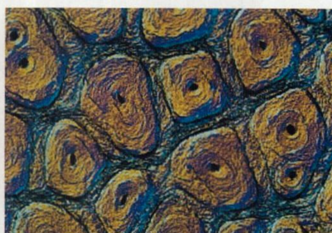
A produção de materiais usando átomos individuais também beneficia os não-metais. Cerâmicas nanofase podem ser moldadas com mais facilidade do que as comuns e, mesmo assim, resistem ao encolhimento que geralmente ocorre nos estágios finais de moldagem. No Laboratório Nacional de Argonne, perto de Chicago, Richard Siegel está produzindo cerâmicas nanofase superdensas e flexíveis como o plástico. Quando for possível produzi-las em quantidades econômicas, poderão ser usadas como chips de computadores e em outros componentes eletrônicos.

Desde os tempos bíblicos, quando os antigos adicionavam palha ao barro para fazer tijolos, sabe-se que um material pode reforçar outro. Atualmente, materiais compostos estão presentes numa infinidade de produtos, de vidro a raquetes de tênis,



Há 12 mil anos os seres humanos usam a lã para se aquecer. A textura escamosa externa desse material libera umidade enquanto o interior chega a absorver líquido até um terço de seu peso. Os cientistas tentam copiar essas qualidades para usá-las em fibras sintéticas. Da esquerda para a direita: lã grossa e fina de carneiro, alpaca e *cashmere*, fios de seda, linho, algodão e poliéster.





de anzóis a barcos de fibra de vidro. E a microengenharia vem tornando-os cada vez mais leves e resistentes, usando elementos de reforço para mudar as propriedades de materiais quebradiços.

Um exemplo notável é um composto de metal e cerâmica, conhecido como *cermet,* criado por alguns pesquisadores. Um deles é Danny Halverson, do Laboratório Lawrence Livermore, da Califórnia. Ele combinou alumínio e carboneto de boro, uma das substâncias mais rígidas conhecidas, e obteve um material incrivelmente resistente, superior a alguns dos (*continua na página 10*)

A seda produzida por uma aranha (*acima*) é um polímero elástico mais forte do que o aço. Os cientistas querem sintetizá-la para possível uso em suturas cirúrgicas e macacões de neve. O composto natural do chifre dos rinocerontes (*alto da página, à esquerda e à direita*) tem uma estrutura semelhante à do material usado no avião bombardeiro Stealth. Os tecidos do chifre são capazes de se auto-recompor, fechando as pequenas rachaduras resultantes do confronto com outros animais.

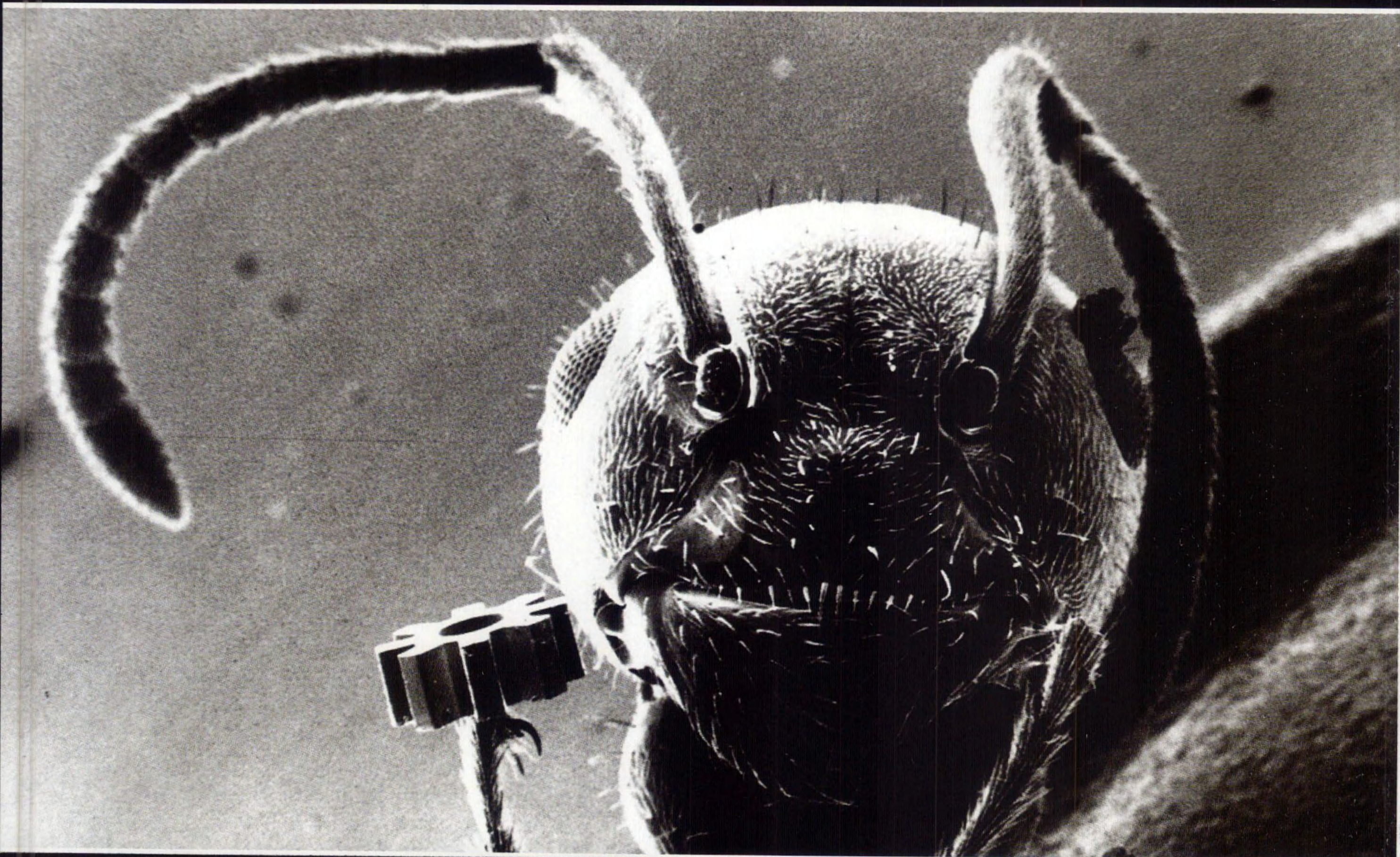


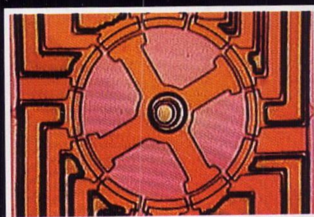
Foto ampliada de uma formiga ao lado de uma microengrenagem com diâmetro de 0,254 mm

Compare uma engrenagem ao tamanho de uma formiga. Tente imaginar essa imagem ainda mais reduzida, do tamanho do pingo de um "i"! Pois tal façanha foi alcançada por um laboratório alemão que também criou uma turbina de 2 500 rpm que cabe no diâmetro de um fio de cabelo. Em 1988, cientistas da Universidade da Califórnia, em Berkeley, construíram o primeiro micromotor giratório, usando camadas de silício. Com o microscópio (*página ao lado, acima*) é possível examinar uma pastilha carregada com 7 mil micromotores. Para testá-los, são usadas quatro sondas superdelicadas (*à direita*). Entre várias outras utilidades, os microssensores de silício monitoram o gasto de combustível em motores de carros e medem a pressão de válvulas cardíacas, pneus e equipamentos de mergulho. Das micro às nanomáquinas, o campo encolhe mil vezes – de um milionésimo a um bilionésimo de metro – e se expande num mundo vasto, complexo e visionário. K. Eric Drexler, apelidado de "Sr. Nanotecnologia", foi um dos engenheiros que projetou o rolamento (*à direita e ao centro*) para uma nanomáquina. Ferramentas moleculares com pontas químicas serão usadas para posicionar os 2 808 átomos da peça que ainda não foi produzida.



Pesquisador analisa micromotores como o que aparece ampliado, ao fundo

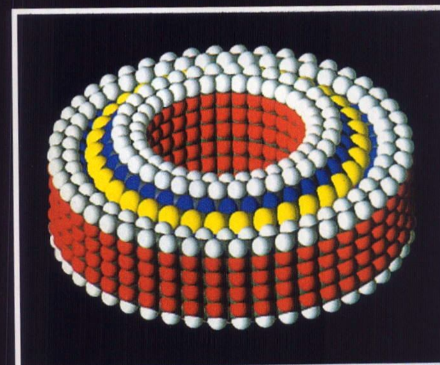
A nanotecnologia se baseia em avanços nos campos da física, da biologia, da química e da informática. Suas possibilidades teóricas



O primeiro micromotor do mundo

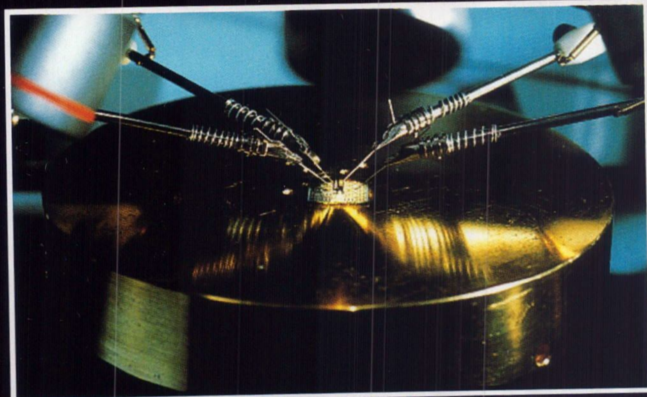
são fascinantes: nanomáquinas incríveis que poderão resultar em supercomputadores que caberiam na palma da mão, capazes de registrar cada palavra impressa desde a época de Gutenberg – tudo num cartão de bolso igual aos de crédito, ou, ainda, mecanismos que poderiam viajar por nosso corpo fazendo consertos e curas microscópicas. Para Drexler, na medida em que as ferramentas moleculares forem gerando modelos mais avançados, estes serão capazes de construir edifícios e até cidades. Isso parece um sonho? Um desvario futurístico? Alguns cientistas acham que sim. Mas não custa lembrar que, há apenas 500 anos, Leonardo da Vinci desenhou esboços quase perfeitos de máquinas voadoras. O que foi aquilo se não um sonho?



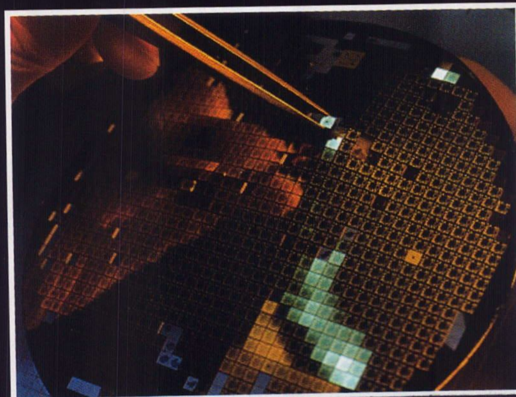


Estrutura de um rolamento molecular: o anel interno é giratório

Sondas testam um micromotor



Microssensores de silício







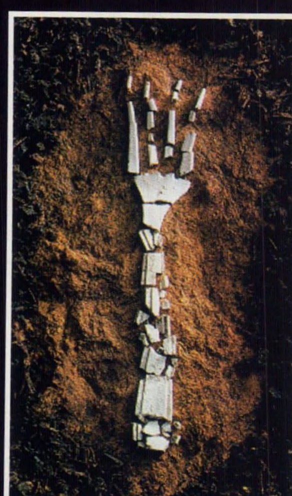
Um sólido mais leve do que o ar, o gel marinho flutua sobre bolhas e somente o ar contido em seus poros microscópicos o impede de sair voando. Em sua forma mais densa, pode ser usado como isolante ou para o acondicionamento de objetos – um concorrente em potencial da espuma de plástico. Além disso, é rapidamente decomposto por água e bactérias, afirmam seus criadores, do Laboratório Nacional Lawrence Livermore. O gel marinho é extraído do kelp – espécie de alga marinha do litoral da Califórnia.

melhores aços de tungstênio, e com um terço do seu peso. Troy W. Barbee, do Laboratório Lawrence Livermore, chefia uma equipe que está desenvolvendo compostos por meio de uma técnica conhecida como *sputtering*: metais e ligas metálicas são empilhados em milhares de camadas alternadas com a espessura de apenas alguns átomos, que podem medir 100 micra ou pouco mais do que um fio de cabelo humano. Esses compostos múltiplos – alguns têm mais de 40 mil camadas – podem combinar propriedades, como rigidez e resistência, por exemplo, que muitas vezes não são encontradas juntas. Essa técnica também é usada na fabricação de compostos de metais e cerâmica. Os materiais resultantes são refratários como a cerâmica e flexíveis como o metal.

A engenheira-mestra de materiais – a natureza – vem desenvolvendo seus projetos há milhões de anos. Atualmente, a seda de uma teia de aranha, a rígida









ECOLOGIA

Usando a natureza como modelo, os especialistas em materiais querem criar produtos que sejam ecologicamente compatíveis. O lixo e os riscos de poluição exigem o desenvolvimento de materiais renováveis e biodegradáveis, produzidos por processos não-poluentes.

couraça de um besouro, a madrepérola – todo o campo dos materiais biomoleculares é um viveiro de investigações empolgantes. A seda produzida por certas aranhas, por exemplo, é extremamente forte, resistente e flexível. A forma inicial da proteína dessa seda é a de cristal líquido, igual ao usado em letreiros digitais. Quando ela é secretada para se transformar em teia, sua configuração molecular é alterada, tornando-se insolúvel, elástica e mais forte do que o aço. Um produto assim poderia ser reproduzido sem pressão, ou calor e sem substâncias químicas perigosas ou lixos nocivos – o sonho de qualquer ambientalista ou engenheiro.

As conchas são feitas de minerais inorgânicos – essencialmente cerâmicas – cuja coesão é garantida por ligaduras protéicas. As de madrepérola, porém, têm uma incrível rigidez em comparação com sua fina espessura. Essa resistência deve-se a sua microestrutura, igual à dos compostos cerâmicos criados pela microengenharia, mas produzida sem o calor, a pressão ou os exóticos componentes das cerâmicas fabricadas pelo homem. Os cientistas não só estão usando esses modelos para melhorar as propriedades dos materiais, como também vêm inventando substâncias que não agridem a natureza – afinal, ela não só produz o que precisa, como também recicla e descarta as sobras. Ao fazer isso, estão fechando um ciclo: há milhares de anos, quando o homem começou a produzir, tinha a sua disposição apenas madeira, ossos e conchas. Hoje, preocupados com o meio ambiente, voltam a esses materiais, reconstruindo-os átomo por átomo.



Clint Fuller (*acima, à esquerda da foto*) e Bob Lenz exibem artigos de plástico natural, produzido por bactérias.

O garfo pode transformar-se sucessivamente em húmus, dióxido de carbono e água em apenas 60 dias. É o que promete a Cargill, empresa processadora de produtos agrícolas de atuação mundial, ao falar de seu EcoPLA – um plástico ecológico à base de amido de milho. Para os EUA, onde são vendidos 30 milhões de toneladas de plásticos descartáveis por ano, a perspectiva é promissora. As fotos (*à esquerda*) mostram as principais etapas do processo de decomposição desse plástico em laboratório, do primeiro ao 45º dia. Na forma de bolinhas (*página ao lado, no alto*), pode ser reciclado, ou simplesmente se decompor.

Texto adaptado do ensaio de Robert Friedel para o livro Frontline of Discovery da National Geographic Society Book Division. Robert Friedel é professor de Tecnologia e História da Universidade de Maryland, em College Park, e autor de vários livros sobre novos materiais. Fotos localizadas segundo as iniciais: (a)= em cima, alto da página; (b)= embaixo; (e)= à esquerda; (c)= no centro; (d)= à direita. O complemento dos créditos das fotos segue as seguintes abreviaturas: PA= Peter Arnold, Inc.; TIB= The Image Bank; PR= Photo Researchers; SPL/PR= Science Photo Library/Photo Researchers. Capa e contracapa: Roger H. Ressmeyer, Starlight. Página 2: (a) Charles O'Rear/Westlight; (b) Roger H.Ressmeyer. Página 3: (a) Dan McCoy/Rainbow; (b) Roger H. Ressmeyer. Página 4: (a) Astrid & Hans Frieder Michler/SPL/PR; (c) Melvin L. Prueitt; (b) Roger H. Ressmeyer, Starlight. Página 5: (as duas) Roger H. Ressmeyer. Página 6: (a) Derek Redfearn/TIB; (b, todas) Leo Barish/Albany Int'l Research Co. Página 7: (a, e) Dianne Blell/PA; (a, d) Robert A. Edahl Jr., Langley Research Center/Nasa; (b) Dan McCoy/Rainbow. Página 8: Karlsruhe Nuclear Research Center. Página 9: (a, e) Peter Menzel; (a, d & c, d) K. Eric Drexler, Inst. for Molecular Manufacturing, e Ralph Merkle, Xerox, Palo Alto Research Center; (c, e & b, e & b, d) Peter Menzel. Página 10: (a) Roger H. Ressmeyer; (c) Lawrence Livermore National Laboratory/SPL/PR; (b, todas) Cargill. Página 11: Roger H. Ressmeyer.



CLIMA I

- OS CLIMAS DO PASSADO
- A IDADE DO GELO
- O CLIMA E AS CIVILIZAÇÕES

DOBRE NA LINHA PICOTADA E DESTAQUE

A Aventura do Conhecimento



NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



Estadão. Plugado no mundo.

Clima I

Coordenação editorial
Klick editora

O CLIMA

por Carole Douglis



Capa: A circulação das correntes marítimas – o vermelho indica os fluxos mais quentes

A arca dos tesouros – o coração do Laboratório Nacional do Gelo, em Lakewood, Colorado, nos Estados Unidos – é imensa e fria. Sua temperatura interna é de 40° C negativos e exige roupas especiais, como um espesso macacão de neve polar feito para o exército norte-americano. Luzes fluorescentes refletem-se nas inúmeras filas de prateleiras, ocupadas do chão ao teto por tubos prateados de alumínio. Cada um deles contém parte de um cilindro de 15 centímetros de diâmetro e 3 quilômetros de extensão, retirado da camada de gelo que cobre o solo da Groenlândia, da superfície ao leito rochoso, e depois cortado em segmentos de 1,5 metro. Esse material, que os cientistas chamam de núcleo de gelo, preserva a água e o ar contidos em flocos de neve que caíram nos últimos 250 mil anos.

A frágil bolha de atmosfera da Terra evoluiu com a própria vida no planeta

Ainda não se conhece plenamente o papel das nuvens no clima: algumas retêm calor e aquecem o globo; outras esfriam o planeta ao refletir a luz solar de volta para o espaço. A qualquer momento, as nuvens (*acima e embaixo*) podem encobrir metade da superfície terrestre.



Na opinião dos cientistas que estudam as amostras no Laboratório Nacional do Gelo, dificilmente engenheiros poderiam projetar um banco de dados melhor do que esse. O gelo capta e revela tudo o que soprou no ar em diferentes momentos – a composição dos gases, poeira, cinzas vulcânicas, pólen e, mais recentemente, a poluição. As propriedades físicas da água obtida no descongelamento do material também permitem a leitura da temperatura nas diferentes épocas.

A temperatura do laboratório é sensivelmente mais quente que a da "arca dos tesouros", 23° C negativos. Sobre uma mesa de luz, Ted Pfeffer, pesquisador adjunto do Instituto de



OS ELEMENTOS DO CLIMA

O clima do mundo é tão complexo que estamos apenas começando a compreender seu funcionamento. Entre os principais componentes do sistema estão as nuvens, os oceanos, os vulcões – e os seres humanos.

Pesquisas Árticas e Alpinas (INSTAAR), mostra um pedaço de gelo cheio de bolhas, extraído próximo à superfície. "A neve que cai, afinal de contas, é principalmente ar", explica ele. A essa profundidade, alguns milímetros de gelo correspondem a um metro de neve no passado. O núcleo de gelo é cheio de listras e estrias que os climatólogos lêem como se fossem os anéis existentes em troncos de árvores e que revelam suas idades. Numa outra amostra extraída de cerca de 100 metros de profundidade, o gelo, submetido à pressão do peso de milênios de precipitação, não apresenta estrias. O ar parece ter se dissolvido completamente e o núcleo é transparente como um vidro.

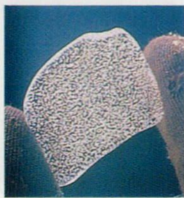
Mas a transparência engana, pois o material ainda contém infinitas partículas microscópicas de ar. Para liberá-las, os cientistas moem um pedaço de gelo no vácuo e em seguida extraem o ar, estudando-o como se fosse igual ao que respiramos hoje.

As revelações contidas no gelo da Groenlândia, da Antártica e dos Andes muitas vezes são um choque para os cientistas. Mas elas são endossadas por dados colhidos em várias fontes, como a lama do fundo dos oceanos, os fósseis, os grãos de pólen preservados em turfeiras, os anéis nos troncos de árvores e nas formações dos recifes de corais.

O gelo informa que o clima é muito mais instável do que imaginávamos: não só se alterou com grande frequência e radicalmente durante os milênios, mas isso ocorreu de forma muito mais súbita do que os pesquisadores julgavam possível. O gelo também mostra as marcas das atividades do homem no planeta, bem como dos vulcões, que lançam gases na atmosfera formando nuvens que envolvem metade do globo; além dos oceanos e ventos, que distribuem o calor e a umidade em todo o planeta. Ele nos lembra, principalmente, que não sabemos por que



Apesar de sua presença ser relativamente recente no planeta, os seres humanos desenvolveram padrões de atividade que contribuem para as mudanças climáticas. A química da atmosfera vem sendo alterada por milhões de toneladas de poluentes lançados no ar. Alguns compostos provocam chuvas ácidas, outros corroem a camada protetora de ozônio. Talvez a atividade mais prejudicial seja a emissão de vastas quantidades de dióxido de carbono resultante da queima de combustíveis fósseis nos veículos e nas usinas termoelétricas. Esse gás é um dos componentes naturais do ar e do efeito estufa – uma redoma que retém o calor dos raios solares e impede o congelamento da Terra. Nos últimos 200 anos, as atividades humanas vêm aumentando a quantidade de gás carbônico na atmosfera. Esse aumento exacerba o efeito estufa, causando um aquecimento maior do planeta. Isso pode romper o equilíbrio climático, que vem se mantendo relativamente estável nos últimos 10 mil anos.



NÚCLEOS DE GELO

A Terra mantém excelentes registros de sua própria história e o gelo é uma de suas boas fontes de dados. As geleiras da Antártica, da Groenlândia e de outras regiões contêm bolhas de ar de diferentes épocas. A amostra (*à esquerda*) é de um núcleo de gelo de 1819 extraído da Antártica.

ocorreram drásticas mudanças no clima ao longo da história da Terra, nem se uma nova alteração poderá acontecer nesta era – que inclusive pode ser provocada por nós. Além disso, para Jim White, integrante do INSTAAR e professor de geologia da Universidade do Colorado, no campus de Boulder, o gelo nos adverte de que estamos lidando com um sistema que ainda não compreendemos. Durante milhões de anos, nossos antepassados caminharam pelo globo seguindo os caprichos do clima. Sua estrutura física e sua inteligência evoluíram na medida em que venceram os desafios climáticos. Nos últimos 10 mil anos, eles desenvolveram a agricultura e construíram cidades porque o clima tornou-se favorável ao cultivo e ao comércio. Climas propícios deram origem a grandes civilizações – mas algumas desapareceram graças a uma simples mudança de ventos.



Os fósseis também são fontes fidedignas para a biografia da Terra. Cientistas comparam informações obtidas em núcleos de gelo a análises de fósseis, como o desse peixe (*acima*) que, no passado, nadou em mares quentes como o que cobria o que hoje é a Alemanha. Os "documentos" com informações climáticas incluem grãos de pólen fossilizados, anéis de troncos de árvores que retratam seu crescimento anual, recifes de corais e amostras de lama do leito dos oceanos.

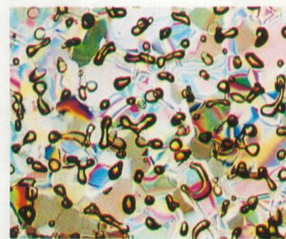
Existe, porém, um novo fator na história do clima e dos seres humanos: hoje somos agentes de transformação.

"A principal interferência do ser humano na atmosfera é por meio da emissão de substâncias químicas", diz Sasha Madronich, cientista do Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas (NCAR), também localizado em Boulder.

Ao incendiar grandes florestas e, principalmente, queimar quantidades enormes de petróleo e carvão, despejamos bilhões de toneladas de dióxido de carbono no ar. Além disso, criamos um problema a longo prazo nos extratos superiores da atmosfera, cuja dimensão equivale a três vezes o tamanho dos Estados Unidos – é o buraco na camada de ozônio que protege a Terra dos raios ultravioleta do Sol. E parece que até conseguimos alterar a própria composição do ar – os efeitos desse fato sobre a natureza, a agricultura e a própria civilização são imprevisíveis.

Há 10 milhões de anos, nossos ancestrais eram apenas uma das muitas espécies de macacos que habitavam as florestas tropicais que cobriam a África. Mas, no processo de evolução do próprio planeta, o mundo começou a ficar mais frio e seco. As matas africanas foram diminuindo e as estepes se expandiram.

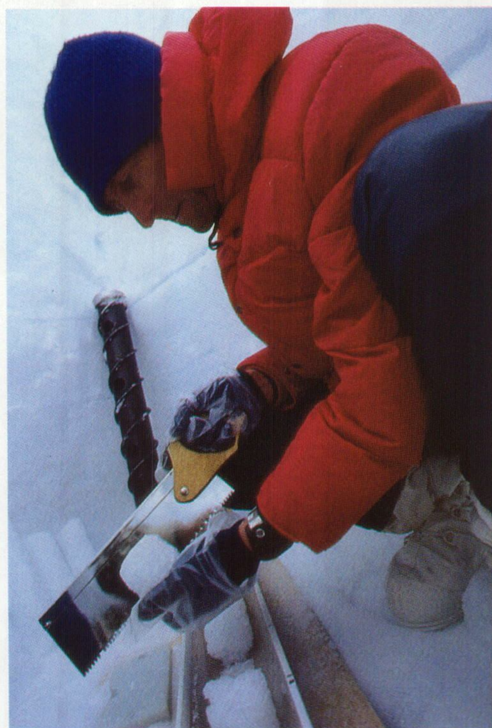
Em vez de entrar em extinção ou continuar agarrados ao que restava das florestas, nossos ancestrais foram procurar alimentos nas savanas. E, de acordo com alguns antropólogos, essa busca se tornou mais eficaz a partir do momento em que ficaram em pé e passaram a caminhar sobre duas pernas. É dessas criaturas bípedes que evoluiu o hominídeo *Australopitecus afarensis,* um dos ancestrais mais antigos do *Homo sapiens*. Depois disso, ao longo de um milhão de anos, o clima africano foi passando de frio



e seco para quente e úmido. Até que, entre 2,8 e 2,5 milhões de anos atrás, ocorreu uma mudança radical: uma grande frente fria e seca deu início á mais recente série de eras glaciais no planeta. O resfriamento do clima africano desencadeou uma reação em cadeia que (*continua na página 12*)

Cientistas procuram pistas sobre os climas antigos em amostras de gelo retiradas de fendas de geleiras (*à esquerda*) ou extraídas das calotas polares (*embaixo*). A análise de cristais de gelo (*em cima*) ajuda a entender as mudanças na composição da atmosfera.

Páginas seguintes: O Laboratório Nacional do Gelo, no Colorado, conserva segmentos de um enorme núcleo de gelo extraído da camada que cobre a Groenlândia.

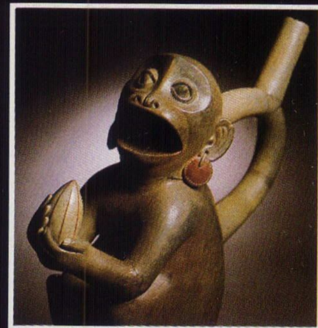



D88
D90




Local de uma antiga cidade acadiana vencida pela seca

O primeiro império conhecido do mundo foi criado há cerca de 4 300 anos pelo temido rei Sargão, de Akkad, que agrupou sob seu comando prósperas cidades-estado independentes e vilarejos da Mesopotâmia.
O chamado berço da civilização, localizado no vale fértil entre os rios Tigre e Eufrates, ocupava partes do que hoje são o Iraque, a Síria e o sul da Turquia. Para os arqueólogos, o maior desafio até hoje é entender por que esse império – ao que tudo indica próspero devido a suas campanhas de conquistas – entrou em colapso súbito após menos de dois séculos. As cidades do norte foram esvaziadas e ficaram abandonadas durante cerca de 300 anos. Multidões partiram rumo ao sul que, em pouco tempo, teve sua população urbana duplicada, sobrecarregando os estoques de água e alimentos e gerando conflitos que acabaram com a dinastia de Sargão. A arqueóloga francesa Marie-Agnès Courty, pioneira no estudo de solos antigos, analisou amostras de terra correspondentes a um período de 8 mil anos, colhidas em diversos locais ao norte de Akkad, cidade que detinha a hegemonia do império. No estrato correspondente à época dessa grande migração, ela descobriu 61 centímetros de areia fina e muita poeira – uma amostra bem diferente do solo rico encontrado em outras profundidades. Courty e seus colegas descobriram provas concretas de que, nesse período, houve uma seca brutal acompanhada de ventos muito fortes e tempestades de areia. "Vale a pena analisar

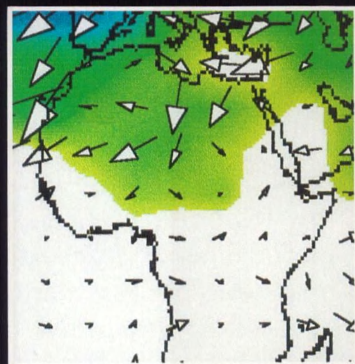

Artefato da cultura Moche

a possibilidade de uma civilização próspera aparentemente ter sido eliminada por uma abrupta mudança climática", diz Harvey Weiss, chefe de uma equipe franco-americana de arqueólogos que investiga Akkad.
Na verdade, do ponto de vista da região, "o mundo



Mudanças nos regimes de chuvas criam desertos

se desintegrou por volta de 3 mil anos a.C.", afirma Weiss. Na época da queda de Akkad ocorreram fenômenos semelhantes em áreas ocupadas por outras civilizações muito desenvolvidas, como na Grécia, no Egito, na Palestina e ao longo do vale do rio Indo, no Paquistão. O próximo passo que os climatólogos precisam dar é descobrir o que aconteceu. Uma seca regional? Uma mudança climática global? Civilizações de outras épocas também foram vitimadas por alterações no clima. Na América, por exemplo, os arqueólogos vincularam a queda da artística cultura Moche, que floresceu no Peru antes dos Incas, entre os anos 100 e 800 da nossa era, a desastres naturais e mudanças do clima. Com todas essas informações, uma dúvida ainda permanece sem resposta: será que no futuro alterações climáticas drásticas vão mais uma vez derrotar civilizações?



O detalhe de um modelo computadorizado projetado pelos paleoclimatólogos Peter deMenocal e David Rind mostra o efeito das temperaturas frias da superfície oceânica sobre ventos (*setas*) e temperaturas (*cores*) nas baixas latitudes da África. As correntes de ar frio secam e resfriam o continente. O trabalho faz parte de um amplo estudo sobre mudanças climáticas na África ao longo de milhões de anos.

O rio Tigre serpenteia por terras áridas que, no passado, formavam um vale fértil



VULCÕES

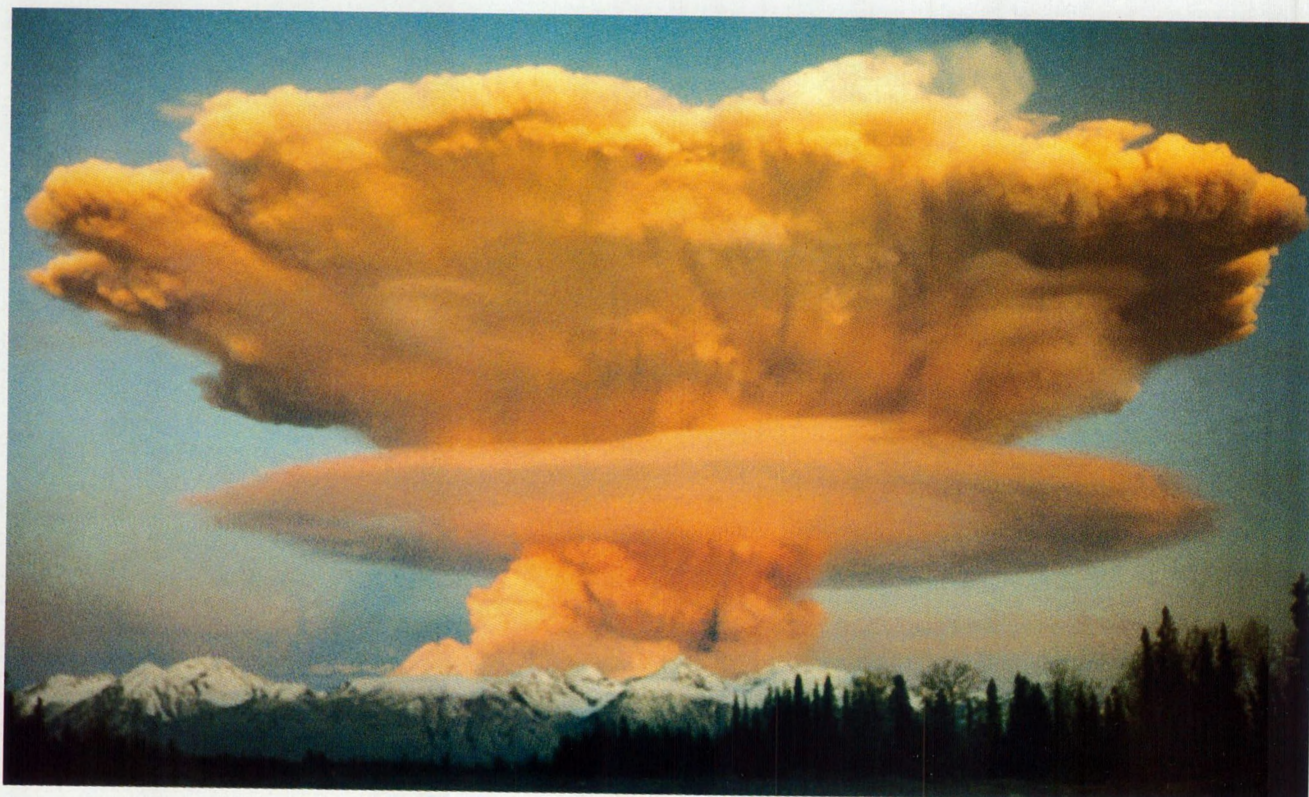
A origem da atmosfera primitiva da Terra está relacionada aos vulcões, que, em suas erupções, trouxeram vapor d'água, dióxido de carbono, anidrido sulfuroso e outros gases do interior do planeta para a superfície. Até hoje, os vulcões afetam o ar que respiramos.

resultou na ampliação das savanas áridas e numa grande renovação das espécies. Foi nesse período que os hominídeos desenvolveram cérebros maiores e começaram a usar ferramentas.

"O clima não é o único ímpeto para mudanças, mas, na minha opinião, muitas vezes é a força que dá início ao processo", diz Elisabeth S. Vrba, paleontóloga da Universidade de Yale e pioneira nos estudos que relacionam o clima e a evolução das espécies. "Qualquer alteração climática desencadeia uma série de mudanças ambientais que exigem um grande esforço de adaptação de todos os organismos", explica a cientista. Há tempos os antropólogos suspeitavam que essas transformações provocaram avanços fundamentais na evolução humana, mas não dispunham de documentação confiável para reforçar tal hipótese. Recentemente, porém, esse quadro mudou. Os chamados paleoclimatólogos – climatólogos especializados na Pré-história – vêm colhendo na lama do fundo do mar dados que vêm confirmando essas suposições.

TEXTO ADAPTADO DO ENSAIO DE CAROLE DOUGLIS PARA O LIVRO FRONTLINE OF DISCOVERY DA NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY BOOK DIVISION. CAROLE DOUGLIS ESCREVE SOBRE MEIO AMBIENTE PARA DIVERSAS PUBLICAÇÕES DA NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY E EM OUTRAS, COMO ATLANTIC MONTHLY, OMNI, WORLD WATCH. FOTOS LOCALIZA DAS SEGUNDO AS INICIAIS: (A)= EM CIMA, ALTO DA PÁGINA; (B)= EMBAIXO; (E)= À ESQUERDA; (C)= NO CENTRO; (D)= À DIREITA. O COMPLEMENTO DOS CRÉDITOS DAS FOTOS SEGUE AS SEGUINTES ABREVIATURAS: PA= PETER ARNOLD, INC.; TIB= THE IMAGE BANK; PR= PHOTO RESEARCHERS; SPL/PR= SCIENCE PHOTO LIBRARY/PHOTO RESEARCHERS. CAPA: LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY. PÁGINAS 2 E 3: NASA/COMSTOCK. PÁGINA 4: (A) FRED WARD/BLACK STAR; (B) FRANK ROSSOTTO/THE STOCK MARKET. PÁGINA 5: (E) ROGER H. RESSMEYER, STARLIGHT; (D) STEPHANIE MAZE. PÁGINA 6: (A) CSIRO/SPL/PR; (B) PETER MENZEL. PÁGINA 7: (E) DOUG ALLAN; (A, E) CSIRO/SPL/PR; (B, D) GEORGE F. MOBLEY. PÁGINAS 8 E 9: ROGER H. RESSMEYER. PÁGINA 10: (E) HARVEY WEISS; (D) NATHAN BENN. PÁGINA 11: (A, E) JAMES L. STANFIELD; (A, D) PETER DE MENOCAL/LAMONT-DOHERTY GEOLOGICAL OBSERVATORY OF COLUMBIA UNIV.; (B) REZA. PÁGINA 12: (A) ANIMALS ANIMALS/THOMAS LONG; (B) BILL ELDRED.

O Monte Redoubt, no Alasca, entra em atividade. Vulcões em erupção, tradicionalmente associados a deuses nas religiões primitivas, espalham magma e cinzas ricas em minerais que fertilizam o solo.



CLIMA II

- EVOLUÇÃO DAS ESPÉCIES
- O EFEITO ESTUFA
- A CAMADA DE OZÔNIO

A Aventura do Conhecimento



NATIONAL
GEOGRAPHIC
SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



Estadão.
Plugado no
mundo.

Clima II

Coordenação editorial
Klick editora

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

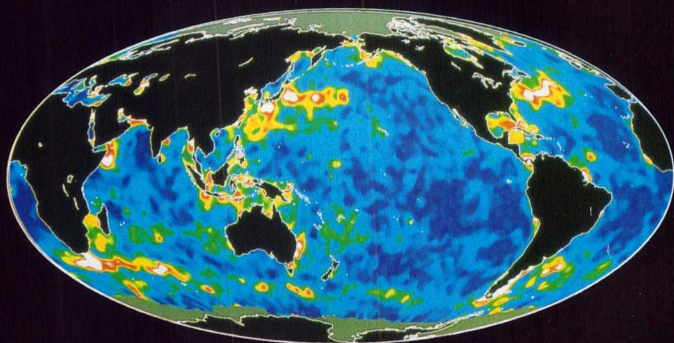




Amostras de ar colhidas num frasco com vácuo (*foto superior*) ajudam os cientistas a analisar o aumento do dióxido de carbono na atmosfera (*foto inferior*)

Capa: Nuvens de cinzas superaquecidas durante erupção do monte Pinatubo

O clima mudou muitas vezes desde a formação da Terra. Geleiras avançaram sobre pradarias como verdadeiros tratores e dunas invadiram viçosos pantanais. As estações do ano também já foram muito mais acentuadas do que hoje. Durante milênios, a Terra foi tão quente que nem mesmo os pólos tinham gelo, mas, nos últimos 500 milhões de anos, o planeta entrou e saiu de diversas eras glaciais. Há pouco tempo, os climatólogos ainda acreditavam que essas mudanças levavam milênios para acontecer. Novas pesquisas, porém, vêm indicando que o clima tem um equilíbrio muito delicado e que pode variar de um extremo a outro em apenas uma geração. A civilização como um todo floresceu nos últimos 10 mil anos – ao que tudo indica o período climático mais estável em centenas de milhares de anos. Mas o clima – que os seres humanos têm como mais ou menos seguro para a agricultura, manutenção de florestas e de seu próprio modo de vida –



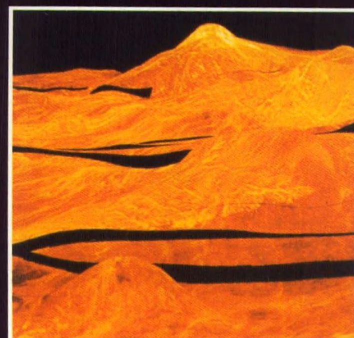
Os satélites facilitam a observação das correntes marítimas (*acima*). Modelos computadorizados mostram a distribuição do gelo polar (*embaixo*)





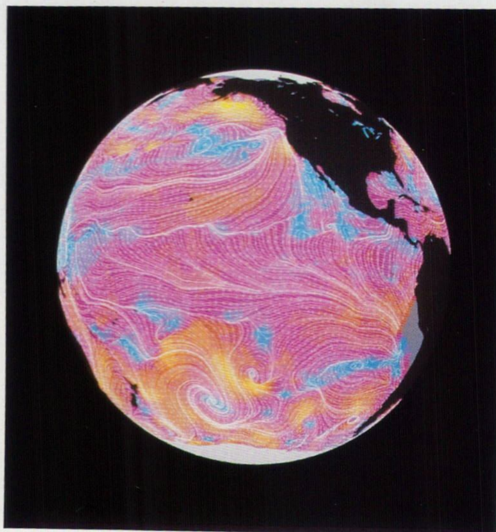
Pesquisador analisa os efeitos do CO_2

pode mudar com espantosa rapidez. É possível que isso aconteça por causa do próprio homem. Análises de ar antigo encapsulado em geleiras polares mostram que, quanto mais dióxido de carbono existir na atmosfera, mais elevada a temperatura, e vice-versa. Com a queima de florestas e de combustíveis fósseis estamos acrescentando CO_2 ao ar a um ritmo sem precedente. No momento, parece que a temperatura global está subindo e o tempo ficando cada vez mais imprevisível.
Os climatólogos temem que devido à interferência humana o clima entre numa fase completamente diferente – quem sabe até numa nova e demorada era glacial.



Ocorrendo em determinadas proporções, o CO_2 e outros gases retêm o calor na atmosfera terrestre, ajudam a estabilizar a temperatura e a manter o planeta habitável. Em Vênus (*acima, numa imagem de computador*), a atmosfera tem muito mais CO_2 do que na Terra e a temperatura, de 427° C, é muito mais quente do que sua proximidade do Sol justificaria.

Esquadras de icebergs poderiam alterar as correntes marítimas



Satélites da Nasa monitoram a velocidade dos ventos e rastreiam tempestades ao redor do mundo. O mapa (*acima*) mostra um dia de ventos fortíssimos no Pacífico Sul e ao largo da costa do Alasca.

Perfurações a grande profundidade feitas pelo paleoclimatólogo Peter deMenocal, do Observatório Terrestre Lamont-Doherty da Universidade de Colúmbia, no leito do oceano ao largo da África trouxeram à luz sedimentos de vários milhões de anos. Além de microscópicos resíduos marinhos fossilizados, esses núcleos de sedimentos continham restos de solo, poeira e cinzas vulcânicas que foram trazidos do continente africano. Quanto mais frio e seco o clima, mais terra e poeira são levadas pelo vento e, portanto, mais espessa a camada de sedimentos depositados no fundo do mar. Os núcleos submarinos datados em 2,8 milhões de anos mostravam espessas camadas de poeira no leito marinho, indicando que as condições climáticas no continente eram mais frias e com mais ventos. Foi justamente nessa época, entre 2,5 e 2,8 milhões de anos, que teve início a última longa série de eras glaciais.

Cientistas vêm trabalhando com a hipótese de que as grandes transformações climáticas têm grande impacto sobre a evolução das espécies. Mas por que climas mais frios provocariam explosões evolucionárias, a ponto de aumentar a potência cerebral de espécies?

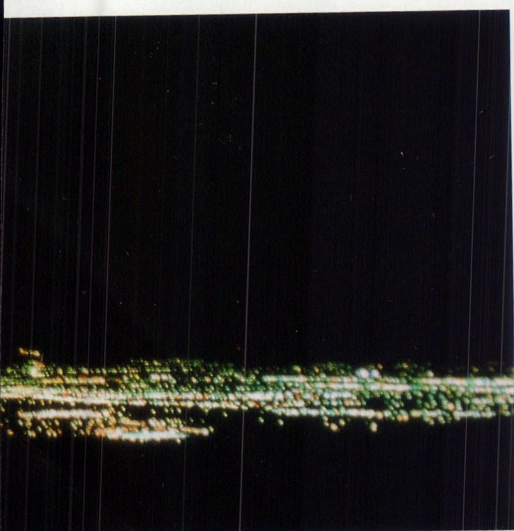
Para Elisabeth S. Vrba, paleontóloga da Universidade de Yale, isso acontece pelo processo de seleção natural. "Os organismos se modificam sob pressão, na tentativa de encontrar uma solução para a sobrevivência num clima frio", diz Vrba. "Eles podem ser obrigados a aprender a fazer coisas novas e 'espertas', como guardar alimentos de uma estação



OS EXTREMOS DO TEMPO

A crescente instabilidade das condições climáticas é um dos principais riscos das mudanças que estão ocorrendo. Com a exacerbação do efeito estufa, as súbitas oscilações do clima seriam mais impactantes do que o aumento da temperatura.

va-iorquinas enfrentam ventania e enchente durante uma tempestade. Trovoadas violentas (*embaixo, à esquerda*), ados (*no alto da página*), enchentes e secas parecem estar aumentando.



para outra ou migrar. Nesse contexto evolucionário, a interação social fica mais complexa e passa a exigir um complicado sistema de comunicação – porque o meio ambiente é hostil", explica a pesquisadora.

Elisabeth Vrba e alguns cientistas vêm analisando uma outra hipótese muito intrigante: o registro de fósseis mostra que durante períodos de clima frio muitos mamíferos desenvolveram proporções físicas maiores, passaram mais tempo no ventre e, ao envelhecer, mantiveram a proporção relativamente alta entre o tamanho do cérebro e o do corpo.



O ecologista Lee Klinger (*à esquerda*) e um colega medem vestígios de gases liberados por uma turfeira artificial do norte de Minnesota que agora está no Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas. Klinger afirma que musgos do gênero *Sphagnum* passam a dominar quando as turfeiras invadem áreas que eram cobertas por árvores. Turfeiras podem ser comparadas a imensas esponjas que absorvem o dióxido de carbono do ar – e a redução desse gás na atmosfera significa temperaturas mais frias. Klinger acha que as turfeiras ajudam a provocar períodos glaciais.

Os filhotes de mamíferos têm essa característica e o fato de ela se manter alta nos humanos adultos, fenômeno tecnicamente chamado de "juvenilização", pode explicar por que a espécie mantém uma curiosidade vigorosa, engenhosidade e disposição para brincadeiras mesmo em idade avançada. Justificaria também a criatividade singular e a capacidade de adaptação que ajudaram o *Homo sapiens* a dominar o mundo.

No momento, essas questões só podem ser respondidas com suposições. Mas já está claro que as mudanças climáticas deixaram suas marcas não apenas em nossos corpos, como também no desenvolvimento das civilizações.

Nova York brilha ao anoitecer com luzes geradas por usinas elétricas movidas a petróleo e carvão. Desde os anos 60, a concentração de CO_2, que retém o calor do Sol na atmosfera, vem aumentando cada vez mais – um fato que preocupa os cientistas.



Em um laboratório abarrotado de computadores, Jim White, integrante do Instituto de Pesquisas Árticas e Alpinas (INSTAAR) e professor de ciências geológicas no campus da Universidade do Colorado, em Boulder, mostra um gráfico com curvas agudas e irregulares, parecido com um eletrocardiograma maluco. "Esta é a primeira vez que conseguimos analisar em detalhes um cicl glacial-interglacial completo", diz ele. O gráfico reúne as temperaturas médias globais dos últimos 150 mil anos – períod maior do que o de existência do *Homo sapiens*. White aponta para uma parte do diagrama que parece indicar uma fase mais quente e, certamente, a mais calma do intervalo de tempo estudado – ela mostra a variação da temperatura nos últimos 10 mil anos.

Pois é justamente nessa época que a civilização, tal como a conhecemos, floresceu – e é possível que isso não seja uma coincidência. Os arqueólogos agora acreditam que a agricultura surgiu em diversos lugares, logo no início desse período interglacial de 10 mil anos. Talvez os seres humanos tenham tentado plantar muitas vezes antes disso, mas esses



INTERFERÊNCIA HUMANA

Há muito tempo, a atmosfera e os oceanos eram considerados grandes demais para ser prejudicados. Agora está claro que existem limites e que a poluição pode matar lagos e florestas a centenas de quilômetros de distância. Cientistas advertem que a Terra não aguentará esses ataques indefinidamente.

esforços não podiam vingar até que o clima se estabilizasse. "Você pode imaginar como é começar a cultivar seus próprios alimentos e ver o clima mudar drasticamente após alguns anos?", pergunta White.

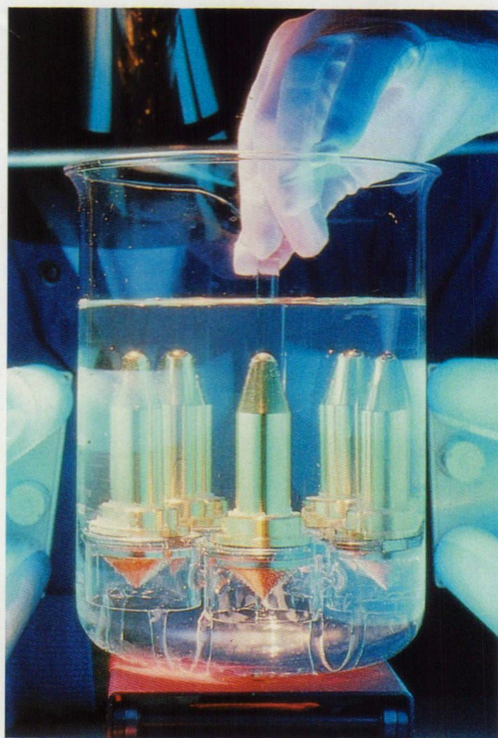
Os climatólogos sabiam que as temperaturas oscilaram acentuadamente durante a última era glacial, mas as amostras de gelo extraídas da Groenlândia forneceram algumas informações novas. Ao que tudo indica, as violentas flutuações climáticas não ocorreram como antes se pensava, lentamente, num espaço de séculos ou milênios, mas em períodos muito mais curtos, como algumas décadas ou até anos. Jim White e outros cientistas acham que, mesmo durante os períodos interglaciais mais amenos, qualquer paisagem podia passar de exuberante a desértica ou de temperada a gelada em apenas uma geração ou menos. Uma das muitas perguntas que ainda continuam sem resposta é por que as condições permaneceram relativamente estáveis nos últimos 10 mil anos.

Apesar de o clima ser o pano de fundo de todos os outros acontecimentos no planeta, é surpreendente como entendemos tão pouco seu funcionamento. "Nosso treino científico nos prepara mal



Nuvens de fumaça sobre a Bacia Amazônica (*embaixo*) são indícios de uma destruição diária. Vulneráveis a incêndios (*à esquerda*), florestas são derrubadas para abrir espaços para a agricultura e extração comercial de madeira.





Um especialista em pesquisas atmosféricas prepara um experimento (*acima*) que será enviado à estratosfera sobre o Ártico. Balões lançados na Suécia (*embaixo*) levam a bordo equipamentos para medir a concentração de ozônio e poluentes na camada superior da atmosfera. Eles também são usados para colher amostras de nuvens e cristais de gelo.

para lidar com sistemas tão complexos quanto a atmosfera", afirma John Firor, ex-diretor do Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas (NCAR). "Na realidade, quanto mais se estuda o clima, mais complexo ele parece. As correntes marítimas e os ventos, as mudanças na órbita terrestre, os diferentes tipos de nuvens, os padrões de precipitação, a poluição – todos esses fatores e mais alguns interagem de formas tão complicadas que ficamos confusos." Um ditado muito citado por Firor e outros climatólogos é útil para refletirmos melhor sobre o grau de nossa ignorância quanto ao clima: "O leve bater de asas de uma borboleta na Argentina poderia afetar a rota de um tornado em Oklahoma".

Como se a atmosfera já não fosse complexa o suficiente, nós também interferimos muito sobre ela. De acordo





A CAMADA DE OZÔNIO

A camada de ozônio que envolve a Terra há milhões de anos protege a vida no planeta dos nocivos raios ultravioleta do Sol. Substâncias químicas estão corroendo esse escudo, resultando num aumento das queimaduras (*à esquerda*) e do câncer de pele provocados pela luz solar.

com John Firor, já está absolutamente claro que a influência humana sobre o clima é tão importante quanto qualquer outro fator relevante e ignorar isso seria um erro.

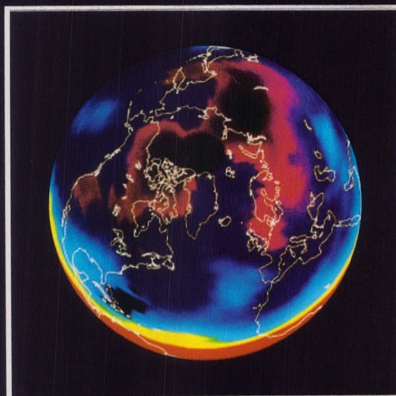
Talvez a interferência humana mais significativa esteja no uso de combustíveis fósseis. A queima de petróleo e carvão libera, entre outras coisas, dióxido de carbono, o CO_2. Atualmente, lançamos na atmosfera cerca de 6 bilhões de toneladas de CO_2 todos os anos.

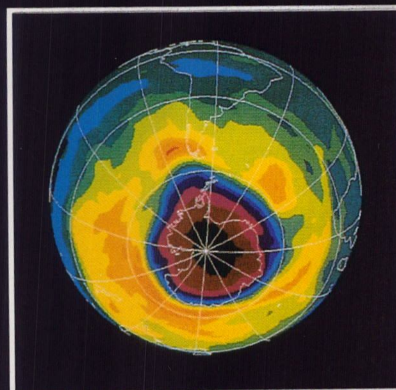
Subproduto da respiração dos animais e também da queima de árvores e combustíveis fósseis, o dióxido de carbono é extremamente eficaz em reter na atmosfera terrestre as radiações infravermelhas – o calor do Sol – que, de outro modo, seriam refletidas de volta para o espaço. Por essa razão, apesar de constituir apenas 0,04 por cento da atmosfera, o CO_2 é uma força potente que ajuda a manter o nosso planeta habitável.

Análises recentes de núcleos de gelo mostraram que a proporção de dióxido de carbono na atmosfera variou naturalmente no decorrer dos milênios – e, quanto mais CO_2, mais alta a temperatura.

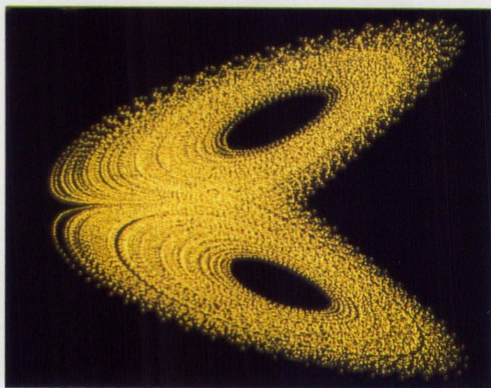
Apesar disso, nenhuma das oscilações do CO_2 atmosférico em eras geológicas recentes é comparável ao que está acontecendo neste exato momento. Dados colhidos pelo Observatório Climático de Mauna Loa, no Havaí, mostram que o rápido aumento de dióxido de carbono na atmosfera começou há cerca de 200 anos. Desde o início da Revolução Industrial, no final do século XVIII, o volume de CO_2 cresceu mais de 25 por cento.

Dentro desse quadro, a média das temperaturas registradas em terra e na superfície dos oceanos em todo o mundo mostra que a década de 80 foi a mais





Nessa imagem construída a partir de dados colhidos por um satélite em 1990, o buraco na camada de ozônio sobre a Antártica (*quadro inferior*) aparece em lilás, rosa e, onde o problema é mais grave, em preto. No hemisfério norte (*quadro superior*) também há uma redução do escudo de ozônio, porém não tão grave, segundo dados de 1993. O azul indica um decréscimo de 5 a 15 por cento em uma década; o rosa e o lilás representam uma perda de 15 a 25 por cento. O preto no Círculo Polar Ártico significa dados inadequados.



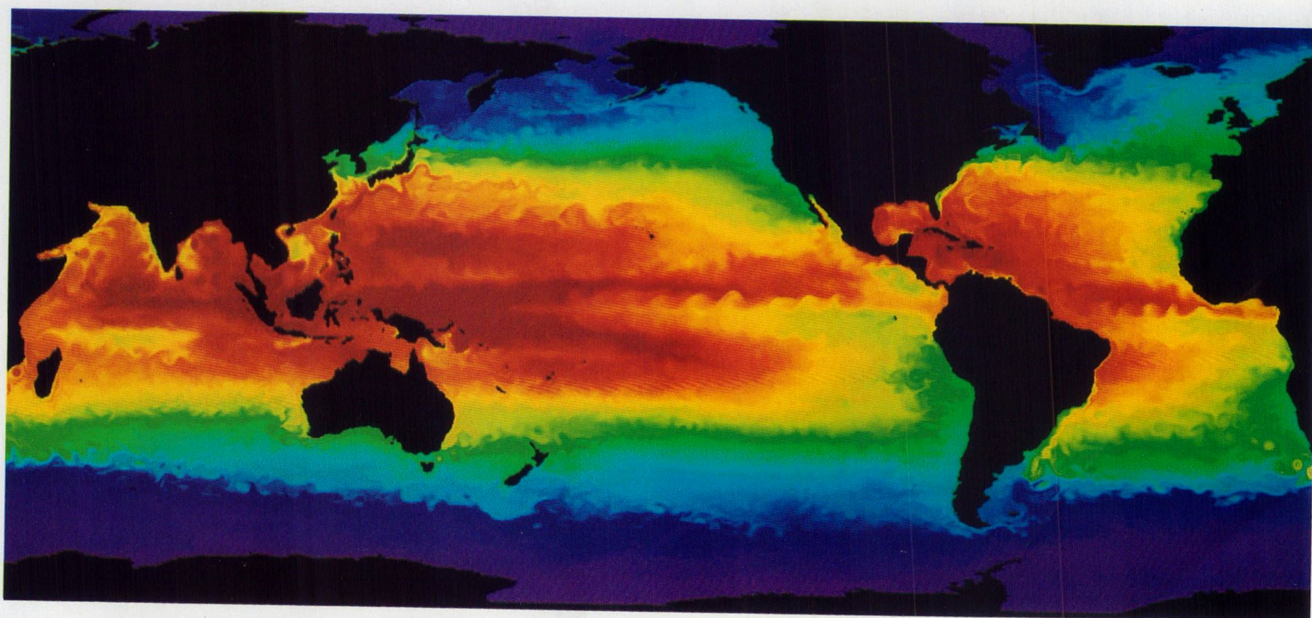
O fractal (*acima*), uma imagem geométrica gerada por computador, mostra que diminutas mudanças podem causar alterações significativas mesmo se os pontos de partida forem quase idênticos. Modelos matemáticos como esse são feitos para representar as forças da natureza e sugerem que sistemas turbulentos e dinâmicos, como o clima, nunca são totalmente previsíveis.

quente de que se tem conhecimento – e os anos 1988, 1990 e 1991 foram os mais quentes que se tem registro. A temperatura média mundial subiu cerca de meio grau centígrado desde o século passado.

Entre os fatores mais preocupantes responsáveis por essa tendência estão as substâncias químicas chamadas clorofluorcarbonos, os CFCs. Alguns deles têm de 20 a 30 vezes mais capacidade de reter calor do que o CO_2. Amplamente usados desde os anos 50, especialmente em aparelhos de ar-condicionado, geladeiras e isolantes de espuma, os CFCs também estão corroendo a camada de ozônio da estratosfera, que nos protege dos nocivos raios ultravioleta do Sol.

Felizmente, as nações do mundo se uniram e resolveram eliminar a produção de CFCs até o ano 2 000. Mesmo assim, o buraco que aparece anualmente na camada de ozônio sobre a Antártica, bem como as manchas mais finas que surgem sobre os hemisférios norte e sul, persistem. E, como os CFCs têm vida longa, os especialistas acham que o escudo protetor do planeta não vai se recuperar totalmente antes de pelo menos um século.

Mas as mudanças climáticas ligadas aos gases que provocam o chamado efeito estufa são muito mais complicadas e controvertidas do que a redução da camada de ozônio. Isso se deve, em parte, às lacunas de conhecimento que temos em relação ao funcionamento do clima e também ao fato de ainda não termos conseguido encontrar um substituto simples e inofensivo para os combustíveis fósseis.



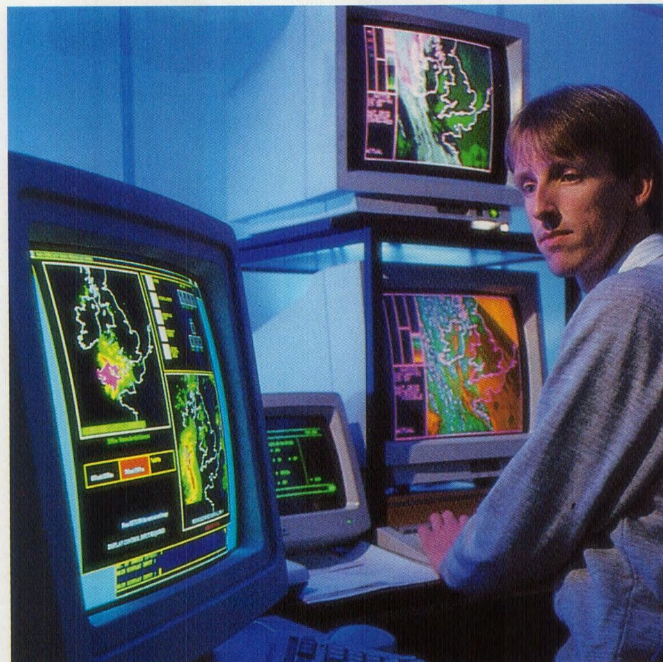
MODELOS CLIMÁTICOS

Cientistas alimentam supercomputadores com uma infinidade de dados para criar modelos visuais de possíveis estados climáticos. Fatores variáveis como camadas de nuvens e correntes marítimas são usados para fazer projeções sobre as prováveis alterações do clima com o passar do tempo.

A redução da emissão de poluentes exigiria profundas mudanças na maneira como o homem usa a energia e, apesar de já se ter obtido alguns progressos, os países vêm se mostrando muito lentos na adoção de medidas adequadas.

A missão mais importante da climatologia atualmente é a de descobrir as maneiras como uma mudança climática poderia afetar o mundo. Como os gases que provocam o efeito estufa agem de fato? Qual o papel das nuvens, dos oceanos e dos diferentes ecossistemas no aquecimento e no resfriamento da Terra? O que os climas do passado podem nos revelar sobre o efeito de possíveis mudanças no futuro?

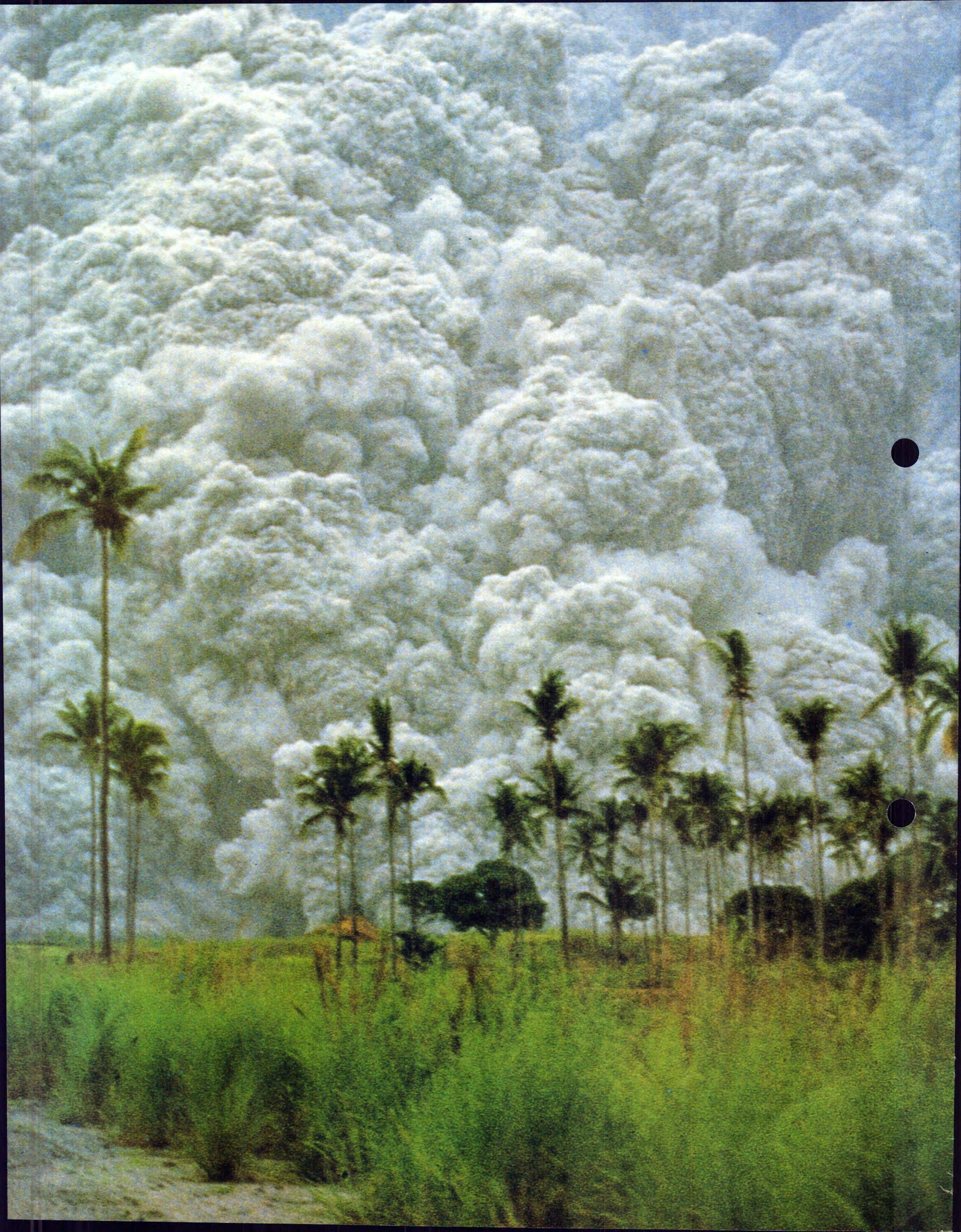
A busca de respostas para essas perguntas envolve alguns dos mais potentes computadores já criados. Modeladores climáticos – especialistas em projetar cenários climáticos futuros por computador – usam equações com valores fixos, como o tamanho da Terra, sua velocidade de rotação, as estações do ano, a topografia e a cor da superfície, bem como os movimentos da água e do ar, e a transferência de calor. Em seguida, aplicam fatores variáveis, como a camada de nuvens, as correntes marítimas ou as erupções vulcânicas, para ver como o modelo computadorizado projeta a reação do sistema em prazos longos ou curtos. Esses modelos criam imagens codificadas e animadas do globo, mostram o começo e o fim de tempestades de neve, alterações de temperatura e o movimento dos oceanos.



Imagens de modelos computadorizados (*acima*) permitem visualizar o acúmulo de gases e de calor na Terra e avaliar a influência de diferentes fatores sobre os sistemas climáticos. Os modelos atuais já conseguem captar a dinâmica das correntes marítimas (*à esquerda, embaixo*), que mudam mais lentamente do que a atmosfera, mas eles ainda precisam ser aperfeiçoados.

Mas os modeladores não gostam quando se diz que fazem previsões. "Lidamos apenas com probabilidades", afirma o modelador Jerry Meehl. "Nossos modelos precisam ser aperfeiçoados e seus resultados devem ser interpretados como advertências", aconselha Meehl. "Devemos nos perguntar o que as projeções nos sinalizam e quais as mudanças que poderiam afetar toda a sociedade."

Texto adaptado do ensaio de Carole Douglis para o livro Frontline of Discovery da National Geographic Society Book Division. Carole Douglis escreve sobre meio ambiente para diversas publicações da National Geographic Society e em outras, como Atlantic Monthly, Omni, World Watch. Fotos localizadas segundo as iniciais: (a)= em cima, alto da página; (b)= embaixo; (e)= à esquerda; (c)= no centro; (d)= à direita. O complemento dos créditos das fotos segue as seguintes abreviaturas: PA= Peter Arnold, Inc.; TIB= The Image Bank; PR= Photo Researchers; SPL/PR= Science Photo Library/Photo Researchers. Capa e contracapa: Alberto Garcia Saba. Página 2: (a, e) Hank Morgan/PR; (b, e) Hank Morgan/Rainbow; (a, d) Nasa/SPL/PR; (b, d) NCAR. Página 3: (a, e) Roger Ressmeyer; (a, d) Nasa/Mark Marten/Science Source/PR; (b) Bryan e Cherry Alexander. Página 4: Nasa/Science Source/PR. Páginas 4 e 5: Ray Nelson/ Phototake. Página 5: (a) Gene Moore/Phototake; (c) Newsday/Ken Sawchuck. Página 6: (a) Roger Ressmeyer; (b) Nicholas DeVore III/Photographers Aspen. Página 7: (a) Oddo & Sinibaldi/The Stock Market; (b, e) Paul Chesley/Photographers Aspen (b, d) Frank P. Rossotto/The Stock Market. Página 8: (as duas) Philippe Plailly/ SPL/PR. Página 9: (a, e) James A. Sugar/Black Star; (a, d) Nasa/Science Source/PR; (b) Nasa/SPL/PR. Página 10: (a) E. Lorenz/PA; (b) Los Alamos National Laboratory. Página 11: Hank Morgan/Rainbow.



CLIMA III

- AMEAÇAS À VIDA NA TERRA
- OS EXTREMOS DO TEMPO
- UMA NOVA ERA GLACIAL

A AVENTURA DO CONHECIMENTO



NATIONAL
GEOGRAPHIC
SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



Clima III

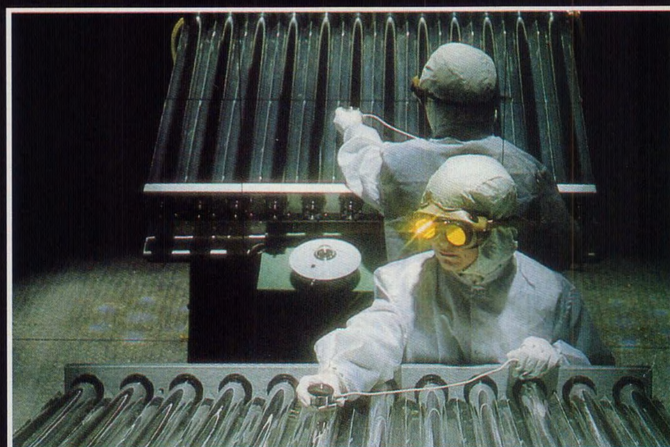
Coordenação editorial
klick editora



Na Islândia, uma usina geotérmica usa o calor do interior da Terra para fornecer eletricidade e água quente

Apesar das muitas dúvidas que ainda cercam a questão do equilíbrio climático no planeta, cientistas de todo o mundo chegaram à conclusão de que já é hora de agir para garantir a estabilidade. Para os pesquisadores, o passo fundamental reside numa mudança de hábitos: a sociedade precisa abrir mão do uso de combustíveis fósseis, ricos em carbono. Existem tecnologias para aproveitar a energia do Sol e dos ventos, o calor do centro da Terra e da biomassa – que inclui o esterco e demais resíduos orgânicos acumulados em fazendas e certas plantas cultivadas por seu alto teor de energia. O custo desses sistemas alternativos vem baixando com rapidez. O preço por kilowatt/hora de energia eólica (gerada pelo vento), caiu 75 por cento nos últimos dez anos e o da eletricidade obtida através de células solares fotovoltaicas diminuiu ainda mais. Hoje, os gastos com a construção de uma "fazenda" de turbinas eólicas são comparáveis aos de uma usina elétrica à base de carvão – com a diferença de que o vento ajuda a economizar combustível, não emite dióxido de carbono ou qualquer outro poluente. A energia hidrelétrica (gerada por quedas de água) é fonte de 20 por cento da eletricidade consumida no mundo. A biomassa, por sua vez, fornece a maior parte da energia usada por quase metade da população do planeta – cerca de 2,5 bilhões de pessoas nos países em desenvolvimento. O vento abastece as casas de cerca de um milhão de

Capa: Células fotovoltaicas instaladas na Califórnia transformam energia solar em eletricidade



Trabalhadores testam células solares

pessoas na Califórnia e poderia prover muitos países com pelo menos 20 por cento da eletricidade que utilizam. Mais de 200 mil residências nos países em desenvolvimento e cerca de 50 mil na Noruega são iluminadas por células fotovoltaicas que convertem a luz solar em eletricidade. Os engenheiros estão empenhados em encontrar formas de estocar a energia solar e dos ventos quando a oferta excede a procura, bem como meios baratos e confiáveis de transportá-la sem perdas. As possibilidades incluem o uso de energia solar e eólica para produzir gás de hidrogênio, uma substância de combustão limpa e também fácil de transportar. Especialistas calculam que daqui a 40 anos, as fontes energéticas renováveis poderão suprir cerca da metade da energia consumida no mundo. O potencial dessas fontes energéticas é virtualmente infinito.



Células solares fotovoltaicas

A maior usina eólica do mundo, perto de São Francisco



A quantidade de lixo produzida diariamente em todo o planeta é um dos grandes problemas ambientais que precisam ser resolvidos. Uma família de San Diego (*embaixo*) exibe o lixo produzido por quatro pessoas durante um ano. As pilhas à esquerda da foto acumulam 500 quilos de materiais que podem ser reciclados. Os pacotes à direita, com um total de 2 400 quilos, são de refugos que acabam em aterros sanitários ou em incineradores (*acima*). Produtos descartáveis não-recicláveis em aterros sanitários podem demorar mais de um século para se decompor.

Os pesquisadores que participam do Painel Intergovernamental das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (IPCC) partilham de uma certeza, construída a partir dos melhores dados e modelos de comportamento do clima hoje disponíveis: se a humanidade mantiver o mesmo ritmo de emissão de dióxido de carbono atual, a quantidade desse gás na atmosfera irá dobrar e a temperatura média global aumentará entre 1,5 e 4,5° C.

Se, à primeira vista, esses números parecem irrisórios, é bom saber que eles representam as mais altas temperaturas já registradas na Terra desde o início da história. Se acrescentarmos 5° C à média mundial de hoje, teremos o planeta mais quente dos últimos 100 mil anos. Para efeito de comparação, basta registrar que, durante a última era glacial, quando geleiras de mais de





RECICLAGEM

Viver de modo racional na Terra significa consumir de maneira econômica. A quantidade de papel, plástico e metal usada precisa ser reduzida. Sempre que possível, embalagens e peças devem ser reutilizadas e boa parte do que sobra pode ser reciclada.

1,5 mil metros de altura estendiam-se de Long Island, perto de Nova York, até o Ártico, passando por Chicago, a temperatura média global era apenas 5º C mais baixa do que a atual.

Se o clima ficar mais quente, como prevê o IPCC, o nível dos mares e dos oceanos subirá – isso sem falar na possibilidade do derretimento de geleiras. Em consequência, as cidades litorâneas ficariam inteiramente submersas e os países situados em ilhas simplesmente desapareceriam. A localização dos cinturões agrícolas mudaria drasticamente, não apenas devido às mudanças de temperatura, mas também pela alteração dos regimes de chuvas.

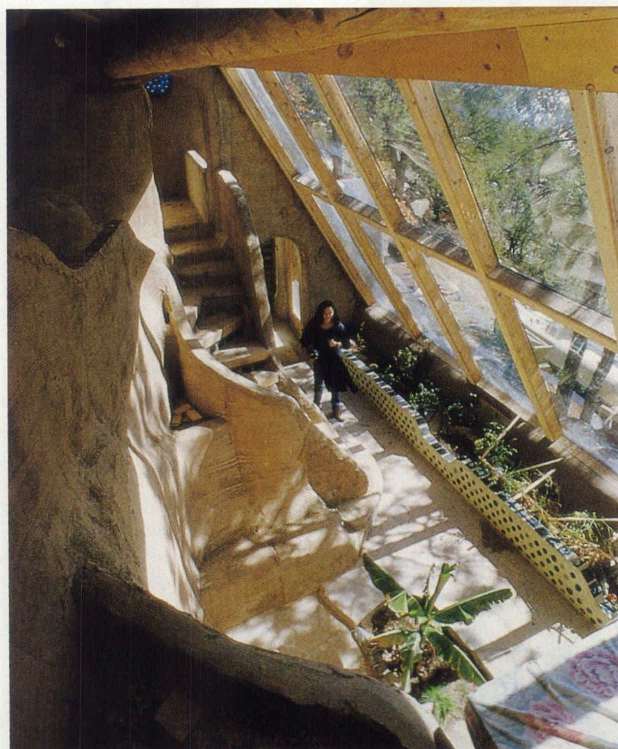
"Além disso, uma transformação climática brusca colocaria praticamente todos os hábitats do planeta em risco", diz John Ryan, especialista em biodiversidade do grupo Northwest Environment Watch, de Seattle, estado de Washington. Nesse caso, também podemos esperar extinções em massa, já que as plantas e os animais são sensíveis ao clima e muitos ecossistemas encontram-se sob grande pressão das atividades humanas.

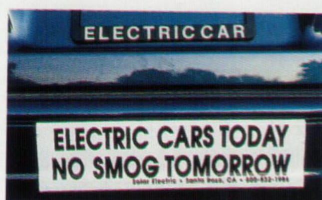
O aquecimento em si mesmo não é o que mais preocupa os climatólogos. A instabilidade climática provoca ainda mais transtornos. Ondas de calor extremo e frentes frias, furacões, enchentes e secas parecem estar aumentando. Isso com base na atual média anual registrada nos Estados Unidos, de acordo com dados da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA): aproximadamente 10 mil tempestades violentas, 5 mil enchentes, mais de 800 tornados, além de diversos furacões.

Tomemos como exemplos o furacão Andrew, as enchentes no Centro-Oeste dos Estados Unidos, em 1993, e o rigoroso inverno de 1994 – se esses fenômenos já não são produtos de uma mudança climática global, eles certamente nos deram uma amostra do que ainda poderá acontecer no planeta.

Como dizem os especialistas, o clima sempre nos surpreende e uma das surpresas que poderá abater-se sobre

Usando a criatividade é possível encontrar outro destino para pneus velhos e latas de alumínio (*acima*) que não o de entupir aterros sanitários. No escritório de um arquiteto em Taos, Novo México (*embaixo*), essas sucatas são usadas para o isolamento das paredes. É surpreendente como o uso de materiais pode afetar o clima: é preciso muito mais energia para fabricar garrafas, latas ou pneus novos do que para reutilizar ou reciclar os já existentes.





ENERGIA RENOVÁVEL

A Terra é rica em recursos energéticos que não poluem, nem se esgotam, como o vento, a luz solar e o próprio calor do interior do planeta. Essas fontes naturais de energia estão sendo cada vez mais usadas. Produzir mais trabalho com menos energia é uma das chaves para o futuro.

o futuro é igual a um fenômeno ocorrido há cerca de 11 mil anos. A Terra acabara de sair de uma era glacial e se aproximava das temperaturas médias atuais quando, de repente, elas despencaram novamente e permaneceram baixas por mais 600 anos. Como esse grande pingue-pongue climático pode ser explicado?

Wallace Broecker, do Observatório Lamont-Doherty da Universidade de Colúmbia, e George Denton, da Universidade do Maine, apresentaram uma hipótese sobre essas variações. Ela é amplamente aceita, mas exige um pequeno parêntese sobre a circulação das águas dos oceanos.

Uma imensa corrente marítima sinuosa, muitas vezes chamada de esteira rolante, faz circular as águas salgadas mais profundas da região tropical do Pacífico Oeste, em direção aos oceanos Índico e Atlântico equatorial. A água flui pela Corrente do Golfo até o norte da Europa. Quando chega ao Atlântico Norte, libera seu calor pela evaporação, resfria-se e afunda. Nesse fenômeno cíclico, as correntes marítimas acabam empurrando quantidades enormes de água salgada de volta aos trópicos, onde ela retorna à superfície e se aquece novamente.

Esse ciclo desempenha um papel importante na distribuição do calor no mundo. Se fosse possível "desligar" a Corrente do Golfo, a chamada esteira rolante também estancaria e o planeta inteiro poderia ser afetado. É exatamente isso que pode ter ocorrido há 11 mil anos.

A hipótese apresentada por Broecker e Denton traça o seguinte cenário: pouco antes dessa intensa queda de temperatura, há 11 mil anos, a água do degelo da camada que cobria a América do Norte teria sido represada por geleiras. De repente, o deslocamento de grandes icebergs permitiu que a água fluísse para o Atlântico Norte. Sendo fria e doce, teria flutuado por cima da água salgada do oceano, mais densa, formando uma espécie de tampa de água doce.

Em seguida, surgiu uma camada de gelo marinho que, juntamente com os icebergs, impediria que o calor da água marinha fosse liberado e aquecesse as correntes de ar na superfície. Em consequência, as temperaturas caíram rapidamente, pelo menos no hemisfério norte. Ao esgotar-se a água do degelo, a esteira rolante teria voltado a funcionar normalmente e a era glacial entrado em sua fase final, terminando dentro de apenas alguns anos.



Num vilarejo do Sri Lanka, técnicos instalam um painel para captar energia solar no telhado de uma casa. Tecnologias como essa ajudam as nações em desenvolvimento a passar de sistemas energéticos dependentes de combustíveis fósseis e altamente poluentes para métodos mais limpos e econômicos.



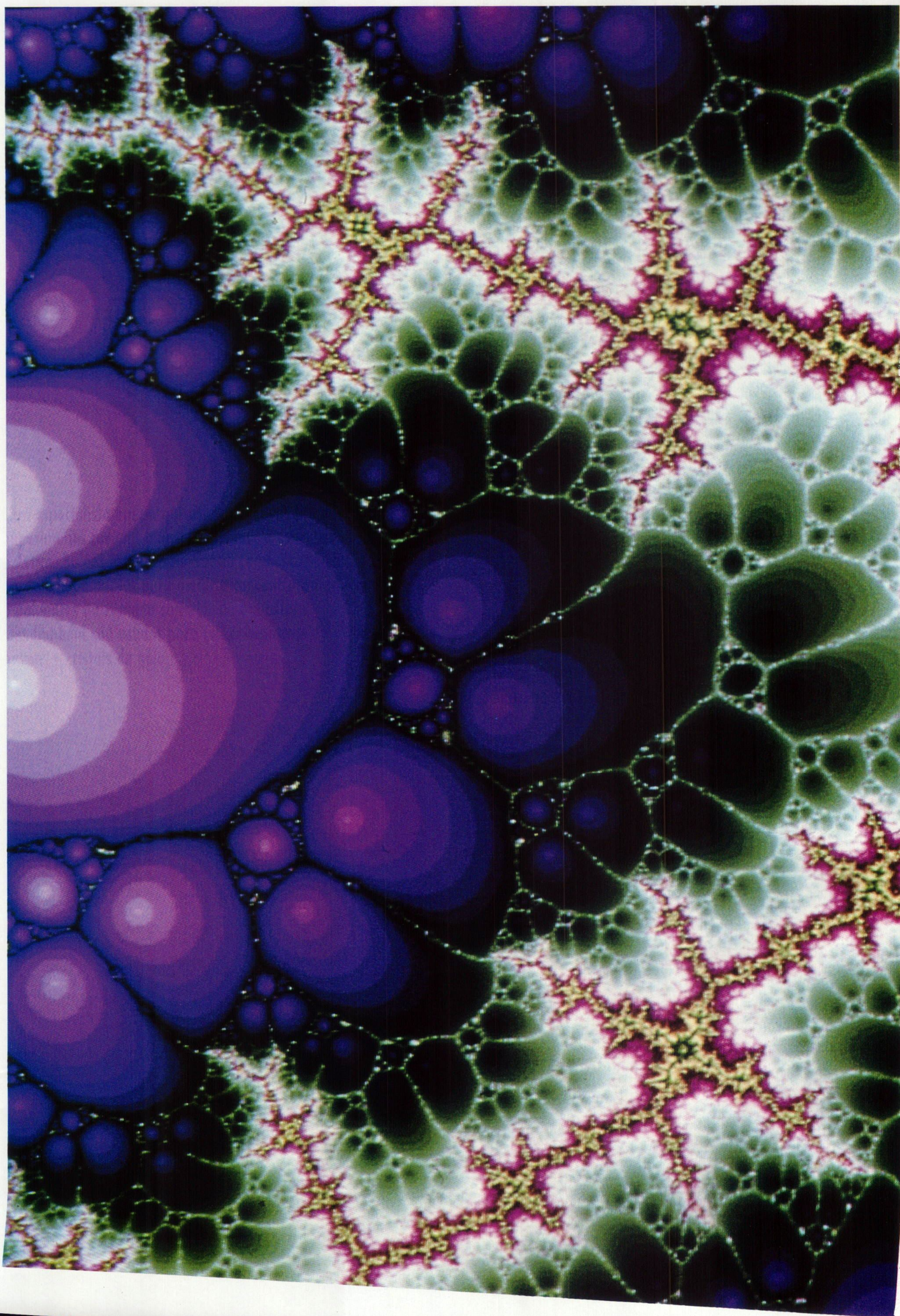
Cercado por novas tecnologias para a transformação de energia, Amory Lovins ajudou a convencer companhias de eletricidade a comercializar lâmpadas fluorescentes compactas e chuveiros mais econômicos. Atrás de Lovins pode-se ver um GM Ultralite, o protótipo de um carro capaz de fazer 43 quilômetros com um litro de combustível. O sucesso desse modelo inspirou Lovins a projetar automóveis ainda mais econômicos – um deles chega a fazer 63 quilômetros por litro.

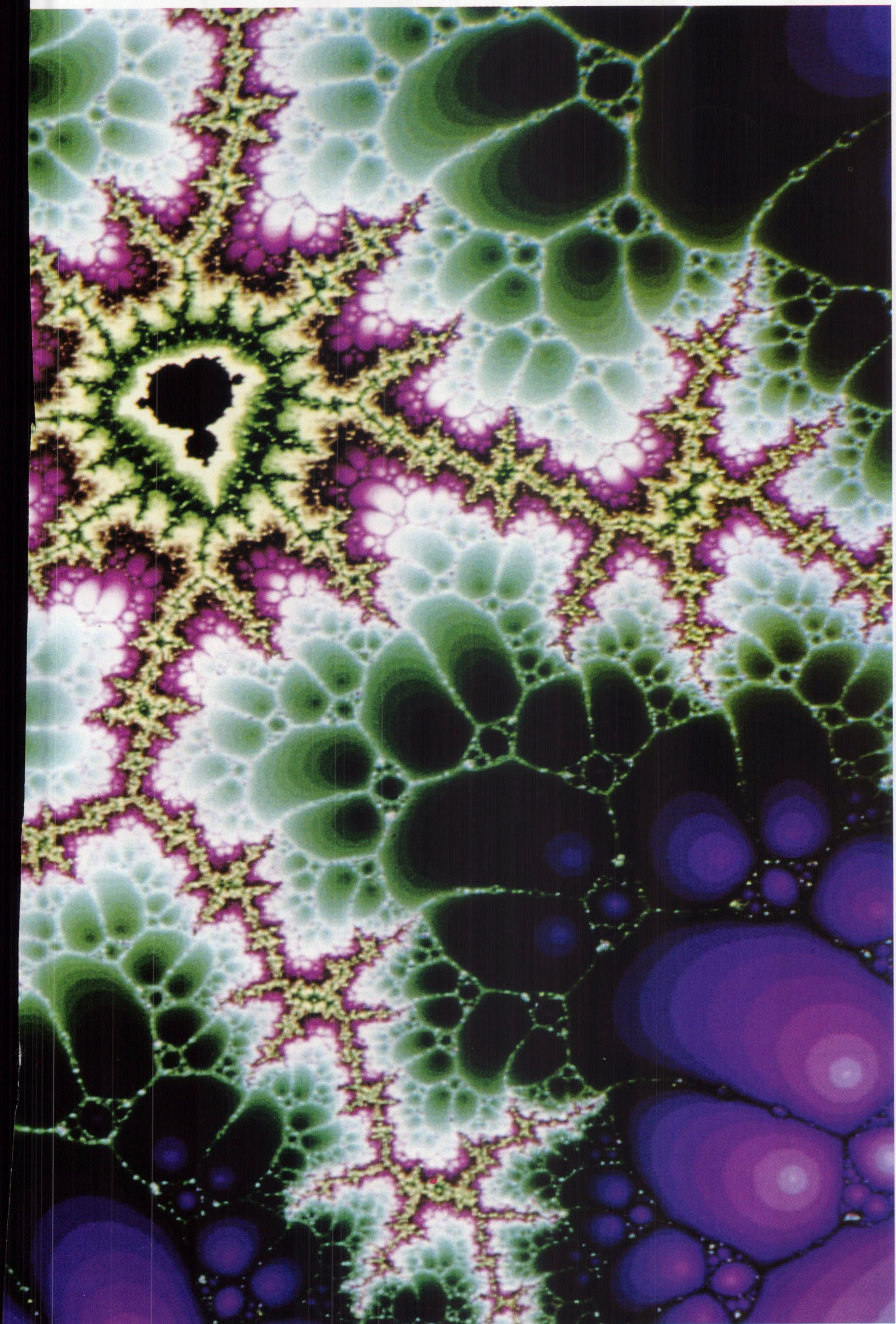
A julgar pelas linhas irregulares do gráfico que registra as temperaturas médias no planeta nos últimos 150 mil anos, dá para perceber que, nesse período, algo acionou e desacionou a esteira rolante várias vezes.

Uma nova teoria propõe a existência de um ciclo de gelo e degelo de cerca de 2 mil anos. Ao longo desse período, a Corrente do Golfo aqueceria o gelo polar até o ponto do derretimento. Com isso, a esteira rolante marinha seria paralisada e, enquanto permanecesse desativada, as temperaturas cairiam. Ao cessar o degelo, a corrente voltaria à ativa, reaquecendo o planeta.

Uma outra teoria propõe que verdadeiras armadas de icebergs se desprenderiam da camada de gelo do continente norte-americano após diversos períodos cada vez mais intensos de aquecimento. Em seguida, esses icebergs navegariam para o Atlântico Norte e, mais uma vez, o padrão de circulação das águas dos oceanos seria interrompido. Embora outros mecanismos também possam entrar em jogo, parece que o Atlântico Norte é um elemento-chave na questão climática por ser mais vulnerável à interferências de correntes de água doce. Será que num mundo em processo de aquecimento um degelo na Groenlândia poderia ser o fator determinante para nos lançar numa nova era glacial? Ninguém sabe.

"Na verdade, pensar sobre esse tipo de possibilidade nos assusta", confessa Richard Alley (*continua na página 10*),





Páginas anteriores: Um fractal – imagem geométrica computadorizada – retrata um padrão básico da natureza. Hoje, cientistas usam esses fractais para analisar sistemas naturais dinâmicos, como o climático. Essa construção matemática permite traçar diferentes cenários, levando em conta mudanças ocorridas no padrão de comportamento e na inter-relação dos elementos que compõem o clima.

pesquisador da Universidade Estadual da Pensilvânia, que vem analisando registros históricos de temperatura. "Sabemos que há épocas em que o equilíbrio climático é muito delicado e também que ele se manteve relativamente estável nos últimos 8 mil ou 10 mil anos", diz Alley.

"O fato é que não entendemos o clima suficientemente bem para podermos afirmar se ele realmente é estável ou se estamos numa corda bamba". Há muito mais a ser descoberto.
Até mesmo climatólogos famosos, como Gerard Bond, pesquisador sênior do Observatório Lamont-Doherty, às vezes suspeitam de que pode existir algo realmente muito importante que não está sendo percebido. A maioria, porém, acredita que já sabemos o suficiente para começarmos a agir.

"Comparada ao esforço dispendido para conseguir que os seres humanos cheguem a um acordo sobre que tipo de ação tomar, a ciência do clima, embora complicada, realmente é a parte mais fácil", diz Dan Albritton, do NOAA, veterano de duas décadas de árduas negociações para alcançar um tratado internacional sobre o ozônio.

Uma sugestão de Albritton enfatiza o apelo de cientistas de todo o mundo: "Não é preciso explicar todas as questões antes de se fazer alguma coisa; algumas medidas já podem ser adotadas com base numa compreensão inicial do problema". Já sabemos o que fazer para controlar esse experimento planetário incontrolável: mudar a nossa economia baseada em combustíveis fósseis para outra matriz, centrada na energia solar e eólica, usando o gás natural, relativamente limpo, como ponte. Isso quer dizer reprojetar nossas casas, fábricas e eletrodomésticos para que utilizem apenas uma fração da energia atualmente consumida. Significa também desenvolver um sistema que aproveite ao máximo os transportes públicos, que seja mais eficiente do ponto de vista energético e que dependa menos dos derivados de petróleo. Implica, ainda, ajudar as nações em desenvolvimento a obter esses novos sistemas de energia renovável.

Essas idéias seriam praticáveis? Seriam muito caras? Segundo Amory Lovins, um destacado especialista em energia e ganhador do Prêmio MacArthur, as opções não apenas estão disponíveis e são viáveis, como também geram lucros. Basta utilizá-las. "Na verdade, as nuvens de CO_2 que entram na atmosfera são indicadores de uma ineficiência do mercado", afirma. "Se usássemos as tecnologias supereficientes que existem hoje, economizaríamos pelo menos 80 por cento de toda a eletricidade consumida atualmente nos Estados Unidos – e isso significa muito dinheiro", diz Lovins.

"Também poderíamos economizar pelo menos 80 por cento do petróleo que usamos hoje – a adaptação dos veículos e demais equipamentos seria mais barata do que a perfuração de novos poços petrolíferos". Coerente com esse raciocínio, ele chegou até a projetar um supercarro: um veículo aerodinâmico que poderia fazer mais de 63 quilômetros

EFICIÊNCIA E ECONOMIA

Já existem tecnologias supereficientes capazes de economizar até 80 por cento da eletricidade hoje consumida. O custo do esforço para adaptar máquinas e equipamentos seria bem menor do que atualmente é gasto com a produção de energia. E as vantagens a longo prazo seriam bem maiores.

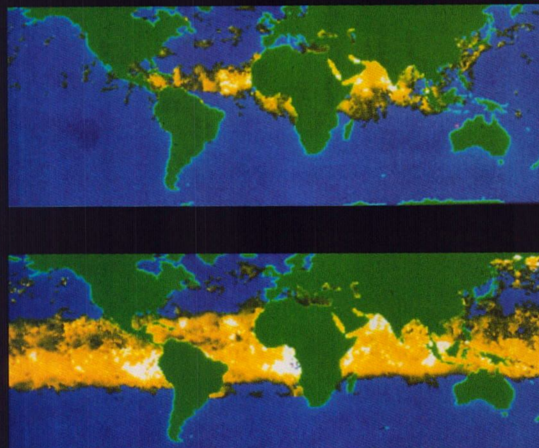
por litro de combustível, uma expectativa de desempenho partilhada por muitos fabricantes interessados.

"Aumentar a eficiência energética e usar energia renovável são ações que deveríamos efetivar de qualquer maneira. Isso faz sentido tanto do ponto de vista econômico quanto do ambiental, mesmo se não houvesse uma preocupação com o clima", afirma Nick Lenssen, analista de energia do Instituto Worldwatch. "As fontes renováveis de energia, como as células solares fotovoltaicas e as turbinas eólicas, estão prontas para ser instaladas em grande escala", garante.

Os cientistas já ficam extremamente preocupados quando pensam na possibilidade de uma duplicação do CO_2 hoje existente na atmosfera. O que eles diriam se queimássemos todos os combustíveis fósseis que acreditamos ainda existir no planeta? O volume desse gás aumentaria dez vezes e as consequências ambientais seriam catastróficas. Mas existe um outro caminho – se formos inteligentes o bastante para escolhê-lo. Os núcleos de gelo do futuro darão seu testemunho, mostrando aos nossos descendentes que tipos de medidas tomamos.

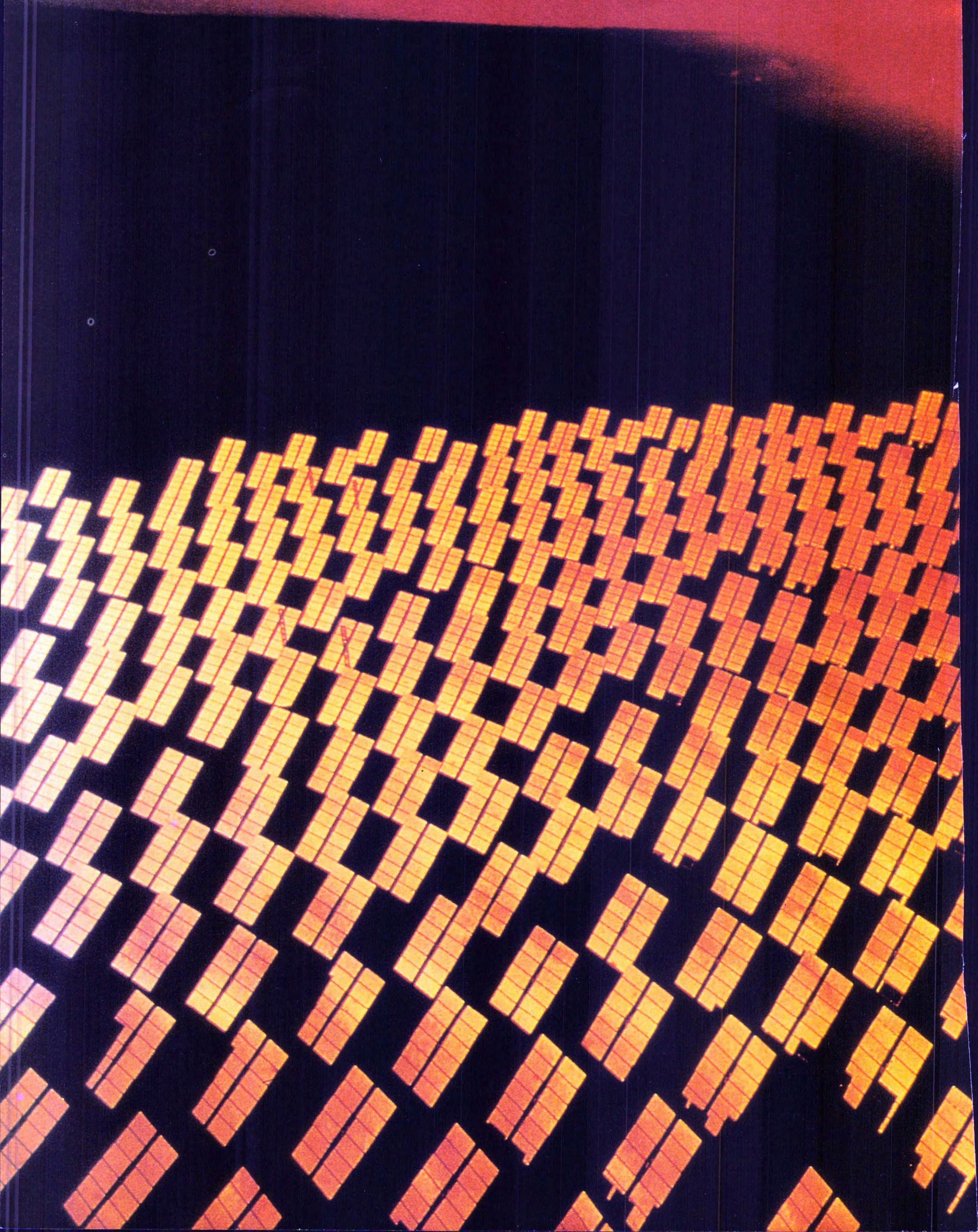
É claro que algumas pessoas acham mais confortável optar por uma visão a longo prazo, centrada no planeta e não nos seres humanos. De acordo com as palavras de Sasha Madronich, por exemplo, independentemente do que vier a acontecer com o CO_2 e com todas as outras substâncias que estamos lançando no ar, a Terra voltará ao seu ritmo normal assim que tivermos partido.

"Estamos dificultando as coisas para os futuros habitantes do planeta. Mas, a curto prazo, é a própria humanidade que estará morando aqui", diz o cientista.



Durante milênios, o equilíbrio climático foi condicionado apenas por fatores naturais. Fenômenos isolados, como a erupção de um vulcão, podem afetar o clima de todo o planeta. Um bom exemplo é a erupção do monte Pinatubo, nas Filipinas, em junho de 1991, que lançou 8,3 quilômetros cúbicos de cinzas e 20 milhões de toneladas de anidrido sulfuroso na atmosfera. Logo após a erupção, dados colhidos por satélite (*acima, foto superior*) revelaram um aumento de gases sulfúricos concentrados principalmente no oceano Índico. Dois meses depois, uma faixa desses gases (*foto inferior*) já circundava o globo. Como eles refletiam a luz solar de volta para o espaço, a temperatura média da superfície do planeta baixou temporariamente em cerca de um grau. Com o surgimento do homem na face da Terra, novos fatores começaram a interferir no clima, como a derrubada de florestas para a agricultura e, mais recentemente, a emissão de gases e outros poluentes na atmosfera.

Texto adaptado do ensaio de Carole Douglis para o livro Frontline of Discovery da National Geographic Society Book Division. Carole Douglis escreve sobre meio ambiente para diversas publicações da National Geographic Society e em outras, como Atlantic Monthly, Omni, World Watch. Fotos localizadas segundo as iniciais: (a)= em cima, alto da página; (b)= embaixo; (e)= à esquerda; (c)= no centro; (d)= à direita. O complemento dos créditos das fotos segue as seguintes abreviaturas: PA= Peter Arnold, Inc.; TIB= The Image Bank; PR= Photo Researchers; SPL/PR= Science Photo Library/Photo Researchers. Capa e contracapa: Dan Maccoy/Rainbow. Página 2: (a) Roger H Ressmeyer, Starlight; (b) Harald Sund/TIB. Página 3: (a) Peter Menzel/Stock Boston; (b) Peter Menzel. Página 4: (a) Roger H. Ressmeyer; (b) José Azel. Página 5: (as duas) Roger Ressmeyer. Página 6: (a) James A. Sugar/Black Star; (b) Solar Eletric Light Fund. Página 7: Roger H. Ressmeyer. Páginas 8 e 9: Art Matrix/Rainbow. Página 11: Robert M Carey, NOAA/SPL/PR.



O CÉREBRO

- OS SEGREDOS DO SONO
- OS MECANISMOS DA DOR
- ROBÔS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

DOBRE NA LINHA PICOTADA E DESTAQUE

A Aventura do Conhecimento



NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



O Cérebro

Coordenação editorial
Klick editora



Capa: Representação de neurônios do cérebro humano

O CÉREBRO

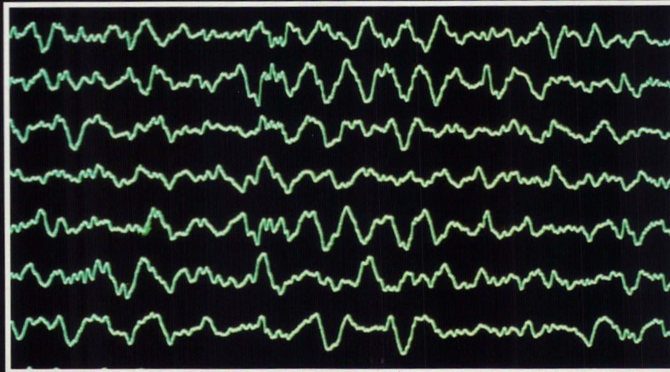
por Richard Restak

Nas próximas décadas, a tecnologia terá um papel fundamental nos esforços para desvendar o que os cientistas tradicionalmente chamavam de a caixa preta: o cérebro humano. Esse órgão misterioso, o mais complexo do Universo, tem fascinado e inspirado os pesquisadores desde que os seres humanos começaram a especular sobre seu lugar na natureza e no cosmo. Alojado com segurança na caixa craniana e protegido por uma barreira de três membranas que impedem a penetração de substâncias estranhas, o cérebro desempenha suas funções praticamente separado do resto do corpo. Mas esse isolamento não é total: por meio dos neurônios, as células nervosas, transmite mensagens eletroquímicas aos outros órgãos sensoriais e aos músculos de todo o corpo.

Paciente submete-se a uma tomografia computadorizada



O SONO



Registro gráfico dos impulsos elétricos em um polissonograma

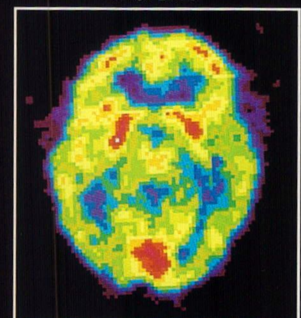


Eletrodos de um polissonógrafo na cabeça, no tórax e na face de uma paciente

O que é, afinal, esse estado chamado sono? Apesar de comumente usarmos as expressões dormindo "como um bebê" ou "como uma pedra", ninguém realmente faz isso. De acordo com pesquisadores, o sono não é um fenômeno passivo – como já se acreditou – durante o qual o cérebro simplesmente descansa, mas um estado gerado ativamente por um certo número de centros do sono localizados no cérebro. As várias linhas que aparecem num polissonograma (*acima, à esquerda*) mostram as atividades elétricas do cérebro, do coração e dos músculos de uma pessoa enquanto ela dorme. Uma pesquisa polêmica, conhecida como sonho lúcido, usa pulsações de luz vermelha para conscientizar o indivíduo

Os diversos estados da mente durante o sono formam padrões de cores vivas nas tomografias por emissões de pósitrons. Esses exames retratam o cérebro vivo usando rastreadores radiativos que medem os diversos índices de metabolismo e as mudanças no fluxo sanguíneo durante atividades mentais diferentes. As imagens (*à direita*) mostram cinco fases distintas de atividade mental: estado desperto; sono normal; falta de sono aguda; sono REM, mais leve; e sono não-REM, mais profundo. As cores representam o grau de atividade mental durante as fases. O vermelho e o laranja aparecem durante os períodos mais ativos, no estado desperto e no sono REM, quando a pessoa sonha.

DESPERTO

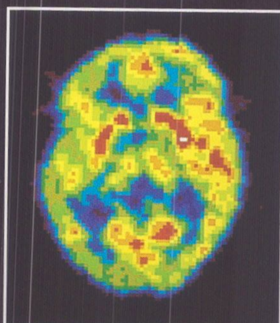




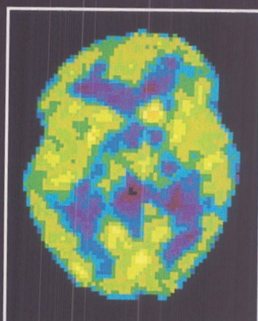
Sensores e luzes pulsantes: os equipamentos para o sonho lúcido

adormecido de que suas visões são sonhos (*à esquerda*). Em 1951, a descoberta do chamado sono REM (abreviatura da expressão *Rapid Eye Movement* – Movimento Ocular Rápido), um estado que se segue aos períodos de sono profundo e é marcado pelos sonhos mais vivos, forneceu novas evidências de que o chamado cérebro adormecido é um verdadeiro caldeirão de atividades. Durante o período REM, de cerca de 20 minutos, as batidas cardíacas, a pressão sanguínea e a respiração ficam irregulares. Depois desse período, entra-se novamente num sono não – REM – um ciclo que se repete várias vezes ao longo da noite.

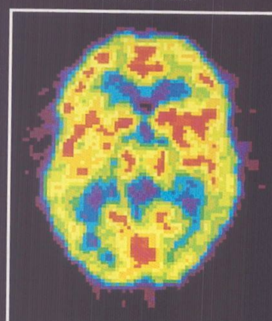
SONO NORMAL



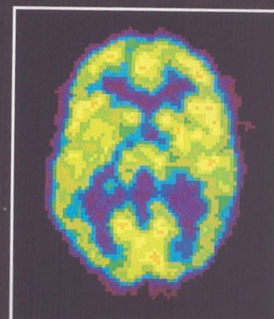
FALTA DE SONO

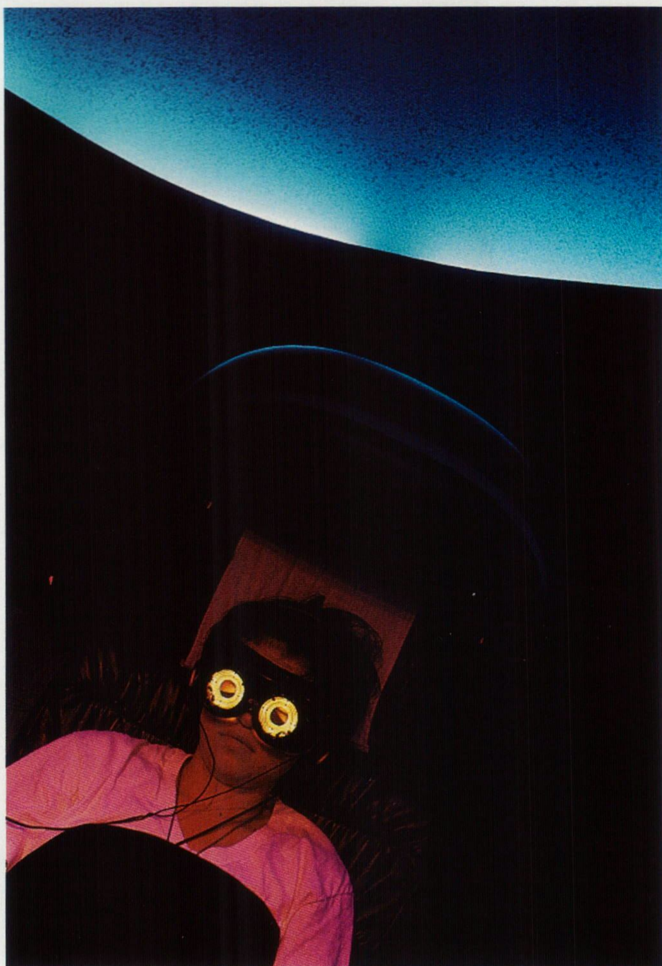


SONO REM



SONO NÃO-REM





Óculos especiais que emitem pulsações de luz fazem parte do ambiente sereno de um centro de ginástica mental, em Tóquio – uma das amenidades com que os habitantes dessa cidade congestionada enfrentam o estresse. Assim como a meditação, essas academias visam levar a mente a um estado de relaxamento ao desviar sua atenção das preocupações cotidianas.

Há quase 2 mil anos, o escritor romano Plínio, o Velho (23-79 d.C.), já afirmava que o cérebro humano é a fortaleza da percepção sensorial. A infinidade de interações de seus bilhões de células nos permite ter sensações, movimentos, coordenação motora, memória, criatividade, capacidade de julgamento e de abstração.

Durante séculos, cientistas tentaram incansavelmente determinar o que o cérebro faz e, principalmente, como. Mas seu funcionamento permaneceu um enigma. Com o aparecimento de modernas técnicas computadorizadas, os especialistas começaram a ver o interior de tecidos. Hoje, aparelhos que produzem imagens tridimensionais ajudam os neurologistas a mapear o cérebro. A tomografia axial computadorizada, por exemplo, depende de raios X; a imagem de ressonância magnética usa ondas de rádio; e a tomografia por emissões de pósitrons depende de rastreadores radiativos. Essas técnicas permitem localizar as áreas do cérebro onde ocorrem os pensamentos e as emoções, os diferentes centros de processamento da linguagem e de coordenação de variadas funções físicas.

Com esses instrumentos, muitos cientistas começaram a vislumbrar um ambicioso projeto de identificar e localizar todas as funções cerebrais – um desafio muito mais complexo do que os atuais esforços para mapear o conjunto dos genes humanos. Para os defensores da idéia, um atlas da mente contribuirá para o avanço das terapias de saúde mental.

Os neurocientistas já estão obtendo progressos nas pesquisas sobre a inter-relação entre genes e disfunções neuropsiquiátricas. Nos próximos dez anos, as descobertas genéticas prometem mudar nossas concepções sobre as disfunções de humor (depressão e manias), de pensamento (esquizofrenia) e sobre a ansiedade (pânico, fobia, obsessão e compulsão) – consideradas as três principais categorias de doenças mentais hereditárias. Já se sabe, por exemplo, que a psicose maníaco-depressiva, também conhecida como disfunção bipolar, resulta do não-funcionamento normal de vários genes e não de um só. A esquizofrenia também pode ser uma doença baseada em vários desequilíbrios genéticos. Atualmente, mais de 40 disfunções do cérebro, da medula e do sistema nervoso periférico são associadas a mutações genéticas, mas a maioria ainda não tem tratamento. A mudança em nosso conceito do

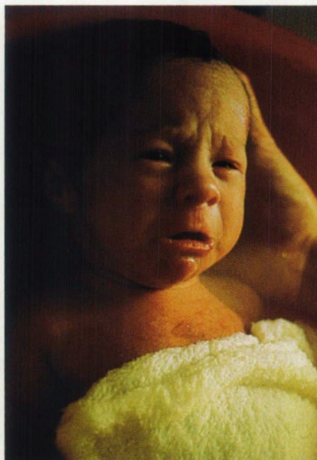
ESTRESSE E DOR

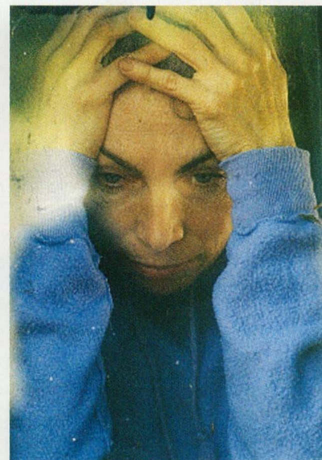
Em pequenas dosagens e pouca intensidade, a dor é benéfica – é a maneira do nosso corpo dizer ao cérebro que algo está errado. Apesar de muitas das ameaças à vida serem indolores, outras são debilitantes pois estimulam demais os centros de dor no cérebro.

que seja doença ou comportamento humano normal inevitavelmente resultará em questões de ética. A incapacidade de adaptação e a insatisfação com a própria vida estão sendo cada vez mais interpretadas como depressão – uma forma de doença emocional. Para se ter uma idéia, basta lembrar que mais de 15 milhões de indivíduos em todo o mundo tomam drogas antidepressivas. Muitos sofrem de depressão aguda e, para eles, os medicamentos modernos são verdadeiros salva-vidas. Outros, com sintomas mais fracos, não precisam de tratamento prolongado, embora, com a chegada de novos produtos no mercado com poucos efeitos colaterais, seja provável que mais pessoas comecem a tomar drogas que alteram o humor. Os números falam por si quando, numa festa qualquer em Nova York, quatro em cada seis jovens profissionais bem-sucedidos afirmam que não mais ficam deprimidos graças a medicamentos antidepressivos.

Todas as substâncias que criam dependência provocam uma profunda alteração no cérebro, inclusive as chamadas drogas legais, como o álcool, a nicotina e a cafeína. As pesquisas mostram que as áreas do cérebro orientadas para as emoções – os centros de prazer e de dor – têm estruturas complexas que podem ser estimuladas por várias substâncias, muitas também com capacidade de alterar os neurotransmissores, os mensageiros químicos que transmitem informações entre os neurônios. As drogas fazem isso e o organismo de quem já está acostumado se ressente na sua ausência – são as crises de abstinência, uma das maiores dificuldades para abandonar certos vícios.

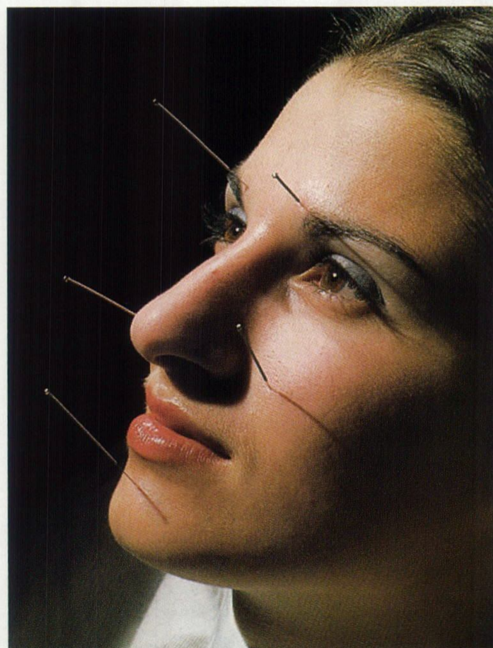
Ao contrário das demais células, os neurônios não se reproduzem e não podem ser (*continua na página 12*),





Expressões de dor (*acima*) resultam de causas tão diversas quanto o choque do primeiro banho de um recém-nascido ou o estresse prolongado da depressão mental. Os tratamentos existentes também são variados – de analgésicos a acupuntura (*embaixo*). O cérebro é capaz de aliviar ou até eliminar a sensação de dor ao produzir substâncias químicas controladoras. Alguns entorpecentes naturais são mais potentes do que a morfina.

Páginas seguintes: Em uma noite de sono normal, muda-se de posição de oito a 12 vezes.




52 05.0

01 08 00.5


41 51.4

02 57 29.7



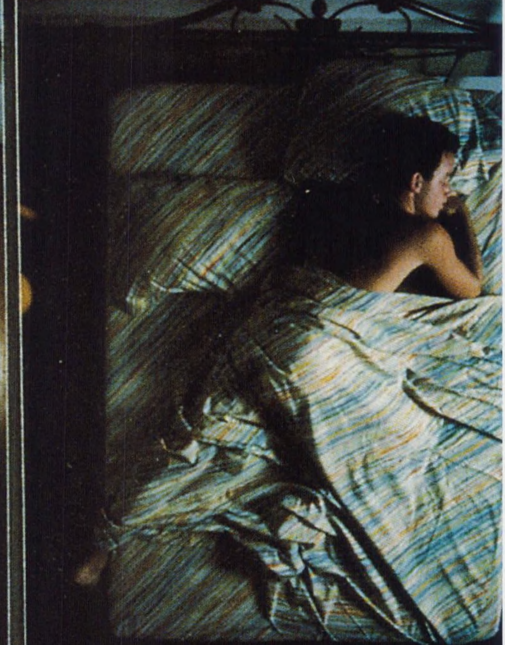



39.3

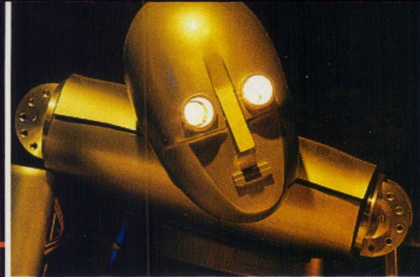
01 39 18.0

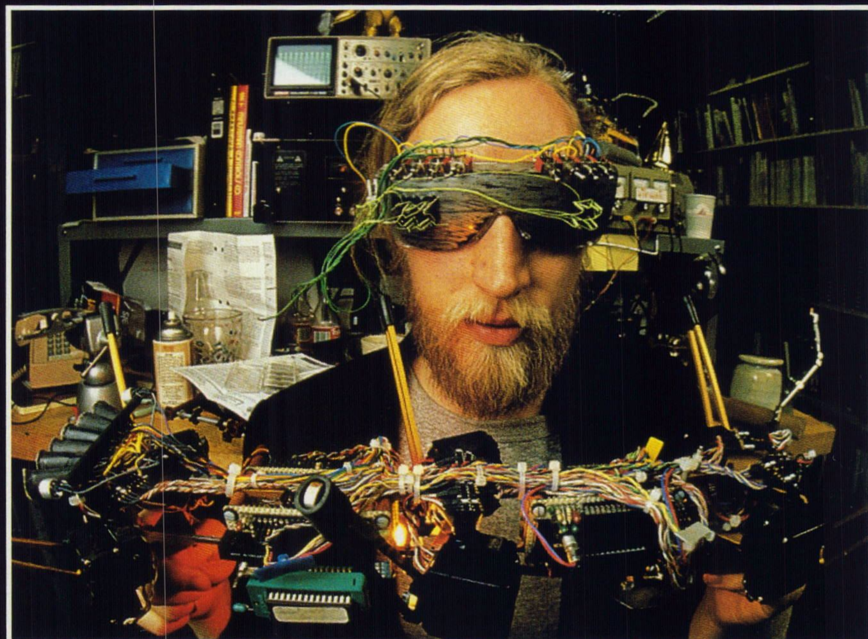
01 54 56.

08.0

03 28 46.4

03 44 25.



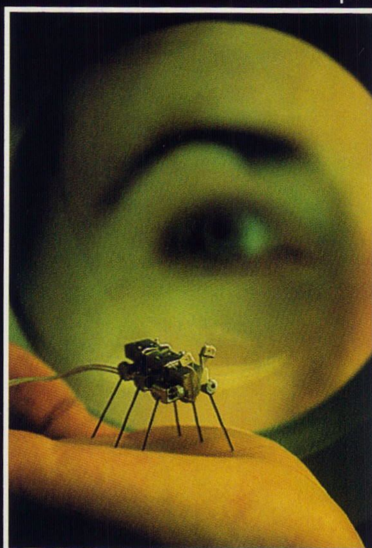





Um pesquisador mostra o robô Genghis

A robótica e a chamada inteligência artificial já fizeram grandes progressos em sua evolução, mas ainda estão muito longe da complexidade perfeita dos circuitos que existem dentro do crânio de um bebê recém-nascido. Os jogos de computador testam mais os reflexos do que a capacidade intelectual; os grandes mestres do xadrez normalmente conseguem dar um cheque-mate em seus melhores rivais computadorizados. Mas robôs e cérebros artificiais continuam proliferando à medida que os inventores humanos, auxiliados por microchips cada vez mais potentes, paulatinamente vão reduzindo a linha divisória entre ficção e realidade. Os pesquisadores do Laboratório de Inteligência Artificial do Massachusetts Institute of Technology (MIT) criam seus modelos robóticos com base em insetos. Partem do princípio de que, apesar de essas criaturas possuírem poucos neurônios e uma limitada capacidade mental, suas formas e comportamento simples são sinônimos comprovados de sucesso. Dessa linha de raciocínio resultaram engenhocas de seis patas como o Genghis (*à esquerda*). Ele pode ver através de sensores infravermelhos que detectam corpos quentes em movimento, e sentir por meio de fios de metal sensíveis à pressão. Genghis tem um "cérebro" microprocessador que exerce o comando, ordenando que siga coisas em movimento de forma inteligente: se algum objeto for colocado em seu caminho, ele passará por cima ou dará a volta para contornar o obstáculo. São muitas as possíveis aplicações para essas máquinas. Cientistas esperam que, algum dia, robôs com pernas, mais práticos que as versões com rodas, poderão caminhar na superfície de Marte. A pesquisadora Anita Flynn, do MIT, prevê aplicações mais corriqueiras e terrestres

O robô mosquito

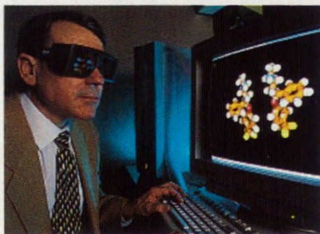




Xadrez com o computador: os jogos têm diferentes níveis de dificuldade

para a sua minúscula invenção, conhecida como robô *gnat* (robô mosquito). Para ela, pequenas máquinas inteligentes como essa poderão ser úteis em tarefas rotineiras, porém complicadas, como, por exemplo, percorrer cabos subterrâneos para encontrar e consertar um rompimento. Soldas robóticas e vários tipos de ferramentas automatizadas já comprovaram seu valor em linhas de montagem e hoje já são amplamente usadas na indústria. No futuro, os robôs poderão ser usados em praticamente todas as áreas de ação humana. As possibilidades incluem imitar os movimentos minuciosos e precisos de um cirurgião, como demonstra um pesquisador da IBM (*embaixo*) ao testar uma das novas tecnologias de cirurgia óssea com o auxílio de um computador.

Pesquisador testa um computador como auxiliar em uma cirurgia óssea



TESTE DE MEDICAMENTOS

Substâncias químicas diferentes podem estimular ou inibir diversas áreas do cérebro, dependendo do tipo de problema a ser tratado. Com seus óculos especiais, esse pesquisador da Eli Lilly & Company (*à esquerda*) "vê" a estrutura de um medicamento antidepressivo.



O braço de um analisador robótico processa culturas de células com receptores para um tipo de neurotransmissor. Ao estudar os receptores, os cientistas desenvolvem novos medicamentos para doenças do sistema nervoso.

substituídos ou recuperados. Contamos apenas com a quantidade que tínhamos ao nascer. É por isso que o tratamento para algumas deficiências, como a surdez, a cegueira ou a paralisia, sempre envolveu a substituição e não a correção. Assim, para os surdos, o teletipo pode ser um substituto para o telefone; o método Braille é uma alternativa para a falta de visão; uma cadeira de rodas assume a tarefa das pernas. Os recentes avanços no campo da engenharia eletrônica, com as miniaturas que podem ser implantadas no corpo, prometem mudar essa tendência.

No momento, os estudos sobre uma possível fusão cérebro–máquina são um dos campos mais promissores e empolgantes da pesquisa cerebral. Próteses neurológicas, como olhos eletrônicos para cegos ou estimuladores neuromusculares para paraplégicos, funcionam por meio de uma troca direta de informações entre os dispositivos eletrônicos e os neurônios. Programas de computador para cegos e surdos capazes de converter textos escritos em palavras faladas e falas em textos já começam a se tornar realidade.

Dentro de uma década, a tomografia por emissão de pósitrons será substituída por imagens funcionais de ressonância magnética – um processo que usa campos magnéticos, ondas de rádio e reconstruções computadorizadas. Esse método promete abrir uma janela no cérebro normal para que possamos ver o que ocorre enquanto uma pessoa pensa, lê ou se emociona. Para isso, as técnicas de imagens têm de ser combinadas com meios adequados para medir os impulsos elétricos do cérebro no momento em que ocorrem. Um desafio e tanto já que esses impulsos viajam de um neurônio para outro em décimos de um milésimo de segundo.

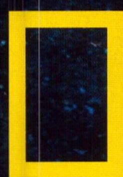
Texto adaptado do ensaio de Richard Restak para o livro Frontline of Discovery da National Geographic Society Book Division. Richard Restak é neurologista, neuropsiquiatra, professor da Universidade George Washington e autor de The Modular Brain. Fotos localizadas segundo as iniciais: (a)= em cima, alto da página; (b)= embaixo; (e)= à esquerda; (c)= no centro; (d)= à direita. O complemento dos créditos das fotos segue as seguintes abreviaturas: PA= Peter Arnold, Inc.; TIB= The Image Bank; PR= Photo Researchers; SPL/PR= Science Photo Library/Photo Researchers. Capa: Yeorgos Lampathakis. Páginas 2 e 3: Joe McNally/TIB. Página 4: (a, d) David M. Porter/F-Stock, Inc.; (a, e & b, e) Philippe Plailly/SPL/PR; (b, d) Hank Morgan. Página 5: (a) Louie Psihoyos; (b, todas) Hank Morgan. Página 6: Karen Kasmauski. Página 7: (a, e) Alain Soldeville/Rapho/Black Star; (a, d) Mel Digiacomo/TIB; (b) Lawrence Fried/TIB. Páginas 8 e 9: Ted Spiegel/Science Source/PR. Página 10: (a) Dan McCoy/Rainbow; (c & b) Peter menzel; Página 11: (a) Francesco Ruggeri/TIB; (b) Michael Melford/TIB. Página 12: (as duas) Roger H. Ressmeyer.

ESPAÇO I

- ORIGEM E EVOLUÇÃO DO UNIVERSO
- A VIA-LÁCTEA E AS OUTRAS GALÁXIAS
- A MISTERIOSA MATÉRIA INVISÍVEL

DOBRE NA LINHA PICOTADA E DESTAQUE

A Aventura do Conhecimento



NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

O ESTADO DE S.PAULO



Espaço I

Coordenação editorial Klick editora

O ESPAÇO

por Dava Sobel

Capa: A Via-Láctea forma um arco no brilhante céu noturno do hemisfério sul

As estrelas e as constelações que percebemos ao olhar para o céu numa noite escura representam apenas uma pequena fração do Universo estudado pelos astrônomos. Sem os seus telescópios gigantes e sondas espaciais, nossos olhos não conseguem captar a agitação cósmica existente sob a aparente tranquilidade da escuridão – as violentas explosões que marcam o nascimento e a morte de estrelas, a colisão de galáxias e o turbilhão de radiação liberada no início do tempo e do espaço. Apesar disso, o céu noturno nos desperta as mesmas perguntas que movem as pesquisas dos astrônomos.

Um raio laser é dirigido ao espaço no Polígono Óptico Starfire, no Novo México



MAPEANDO O UNIVERSO

Novas tecnologias permitem que os astrônomos explorem distâncias inimagináveis através do tempo astronômico. Estudos recentes vêm desafiando respeitáveis teorias e revelando estruturas e padrões inesperados no Universo.

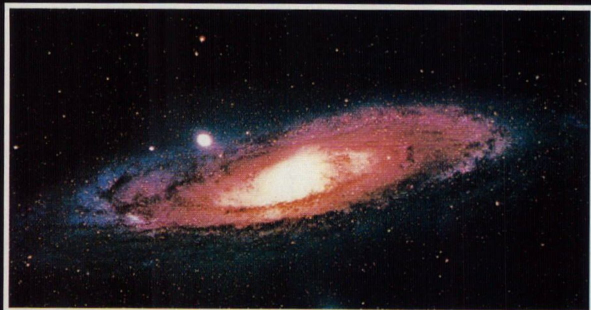
Assim como os astrônomos, também nós queremos saber o que é o Universo e quando tudo isso começou. Ele é eterno ou algum dia chegará ao fim? Para onde vão as galáxias em sua fuga pelo espaço? Qual a origem das estrelas? Estaríamos sozinhos na vastidão do cosmo? Caso contrário, com quem compartilhamos o Universo? Enquanto pensamos neste assunto sob a luz das estrelas, instrumentos espalhados por várias partes do mundo e outros tantos em órbita ao redor da Terra estão registrando informações que podem nos ajudar a encontrar algumas respostas para os mistérios fundamentais da astronomia.

Qual é o aspecto do Universo? Os milhares de estrelas que podemos ver numa noite escura de céu aberto constituem uma fração da nossa galáxia, a Via-Láctea – um pulsante aglomerado de vários bilhões de estrelas, de formato espiral, e com quantidades de gás e poeira suficientes para formar outros bilhões de estrelas. Essa imensa galáxia, no entanto, é apenas uma entre dezenas de outros aglomerados estelares mais ou menos semelhantes reunidos no que os astrônomos chamam de o Grupo Local. Essas galáxias estão próximas o bastante para serem vistas com um telescópio amador. Em condições ideais, é possível ver a olho nu o contorno sutil e nebuloso de Andrômeda, uma galáxia cuja luz leva mais de 2 milhões de anos para chegar à Terra.

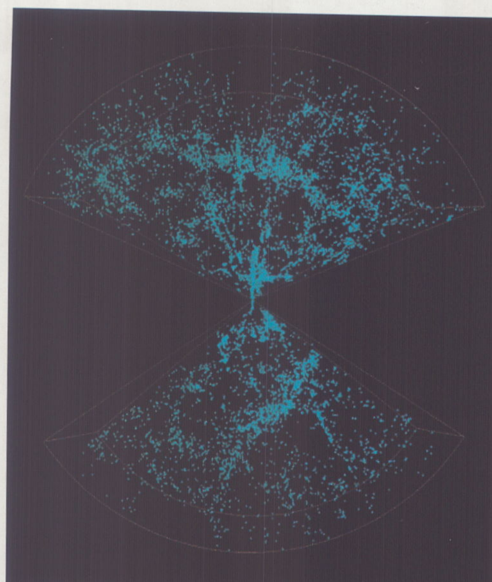
A Via-Láctea, Andrômeda, as Nuvens de Magalhães e outras galáxias integrantes do Grupo Local ocupam apenas uma pequena região dentro de um vasto agrupamento de galáxias que se movem em conjunto através do espaço. É possível que a constelação de Virgem, o aglomerado mais próximo de nós, contenha 2 mil galáxias individuais.

Esses aglomerados, por sua vez, formam grupos ainda maiores, chamados superaglomerados. Além disso, trabalhando com escalas de grande magnitude, as maiores já conseguidas, os astrônomos também perceberam que existem finas camadas de galáxias cercando enormes vazios no espaço e formando uma espécie de espuma de bolhas cósmicas.

Margaret Geller e John Huchra, do Centro Harvard-Smithsonian de Astrofísica, em Cambridge, Massachusetts, são dois especialistas que, graças a seus esforços em mapear a configuração do Universo próximo, receberam o apelido de







Fatias cuneiformes tridimensionais do Universo revelam que estrelas e galáxias se organizam em grandes estruturas, detectadas pela primeira vez por John Huchra e Margaret Geller (*página ao lado, em cima, com um estudante*). Construídas a partir da perspectiva da Terra, localizada no vértice do cone, essas imagens mostram milhares de galáxias em torno de imensos vazios.

Páginas seguintes: O quadrado vermelho indica a posição do nosso sistema solar na Via-Láctea.

"cartógrafos cósmicos". Eles ficaram surpresos com os resultados do mapeamento que fizeram. Não esperavam encontrar um padrão tão notável de agrupamento de galáxias, nem vazios cósmicos tão grandes. A foto tridimensional que fizeram de uma região do espaço, em forma de fatia de bolo, tornou-se um dos símbolos da ciência moderna, assim como a espiral dupla do DNA.

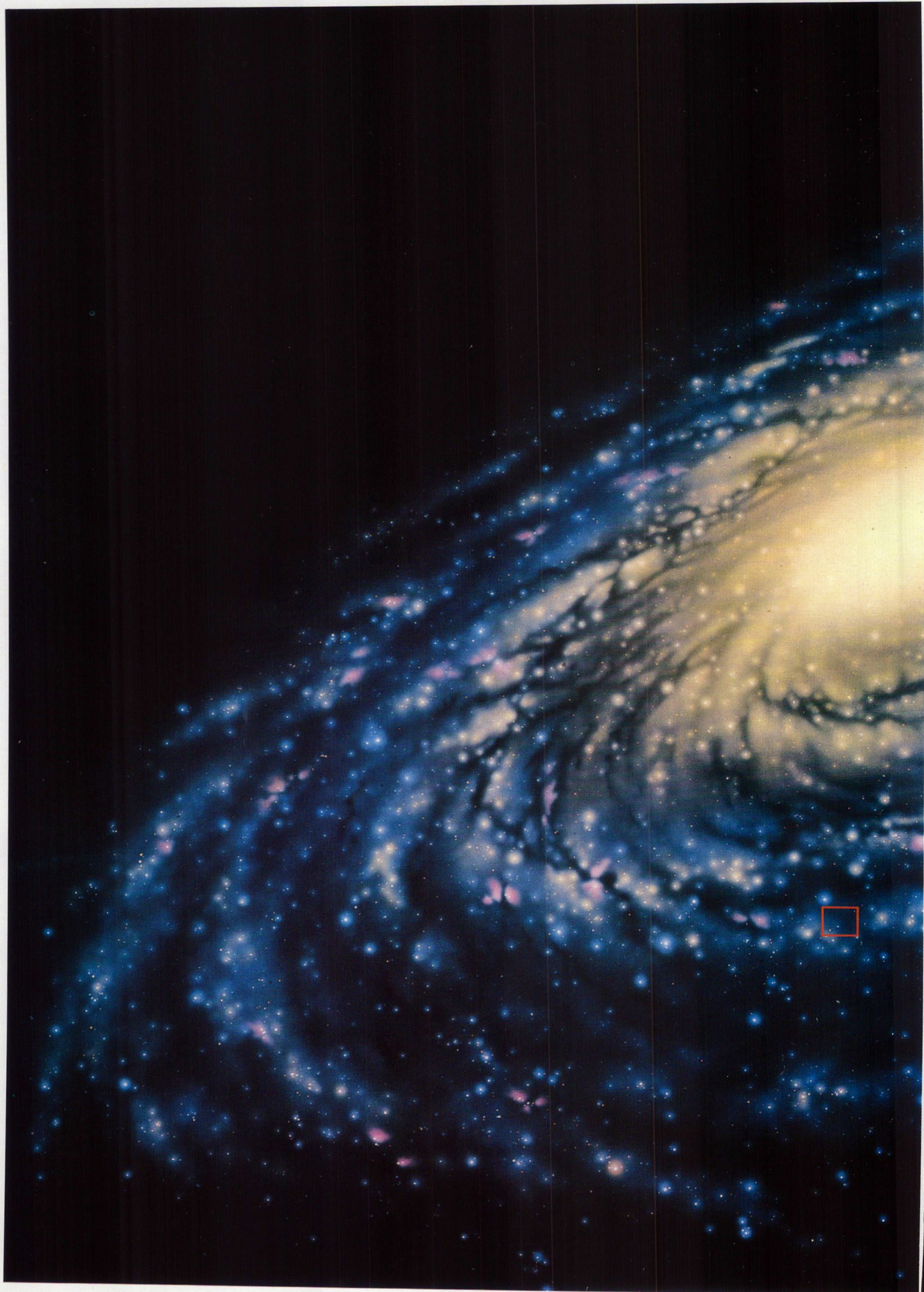
"Nosso principal objetivo agora é mapear o Universo distante", diz Geller. "A profundidade que alcançaremos com o nosso novo telescópio deverá nos dar uma imagem detalhada de como o Universo era há 5 ou 6 bilhões de anos", explica.

Recentemente, astrônomos captaram uma imagem minuciosa do aspecto do Universo há pelos menos 10 bilhões de anos, pouco depois de seu explosivo nascimento. Nessa fase, as galáxias ainda não existiam e nenhuma estrela tinha se formado. Havia apenas uma névoa de partículas ativas, as quais começavam a se organizar adquirindo os primeiros esboços de forma e estrutura. O satélite Cosmic Background Explorer, ou Cobe, mapeou essas ondulações no tempo-espaço quando estava medindo a temperatura do que restou da radiação emitida no momento da explosão que deu origem ao Universo. Os mapas do Cobe revelam a existência de antigas diferenças de densidade no Universo primitivo, que, provavelmente, são responsáveis pelos padrões de agrupamento de matéria hoje conhecidos.

Pesquisas como a planejada por Geller e Huchra permitirão observar em grande escala a evolução (*continua na página 10*)



A Via-Láctea e mais cerca de 30 galáxias vizinhas formam o chamado Grupo Local. Esse aglomerado estende-se por 3 milhões de anos-luz e é muito modesto em comparação a outros agrupamentos de galáxias. Andrômeda (*à extrema esquerda*), ligeiramente maior do que a nossa própria galáxia, tem uma brilhante protuberância central cercada por gás incandescente e espirais de estrelas jovens. A Grande Nuvem de Magalhães (*ao centro*), uma galáxia irregular com um terço do tamanho da Via-Láctea (*à esquerda*), brilha com tanta intensidade que foi usada como referência para a navegação.

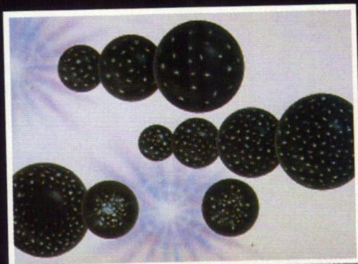




DEPOIS DO BIG BANG



O astrônomo John Mather mostra um dos primeiros mapas do Cobe

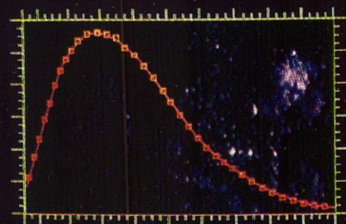


O quadro acima mostra a representação de três teorias sobre a evolução do Universo: a do Big Bang (*no alto*), na qual a matéria surge no momento da criação e continua se expandindo; a do estado estável (*no centro*), segundo a qual a expansão do Universo é equilibrada pela gravidade; e a do Big Bang cíclico (*embaixo*), em que a gravidade contrairia o Universo até um colapso e novo começo explosivo.

A energia gerada nos confins do espaço – da radiação eletromagnética à luz visível – pode levar milhares ou até milhões de anos para chegar à Terra, mas sempre nos traz algum tipo de informação. Na medida em que a tecnologia nos permite olhar cada vez mais longe no cosmo, abreviamos esse tempo e somos capazes de ver fenômenos ocorridos há séculos, ou mesmo muitos milênios.

Os observadores vibram com o espetáculo de explosões de estrelas que já estavam mortas há muito tempo quando sua luz finalmente chegou até nós. A jornada mais desafiante através do tempo é a tentativa de regredir até o momento da própria criação, há 10 ou 15 bilhões de anos, e examinar o Universo em seu estado primitivo, antes mesmo que as estruturas observáveis – estrelas, planetas e galáxias – começassem a tomar forma. Depois do Big Bang, quando o Universo começou a esfriar, partículas subatômicas foram se unindo gradualmente. Esse processo gerou uma energia conhecida como radiação cósmica de fundo, que continua brilhando pelo Universo sob a forma de radiação de microondas.

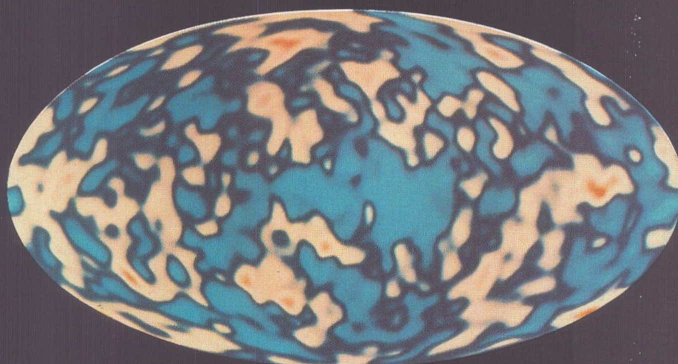
O satélite Cobe (Cosmic



Espectro da radiação cósmica de fundo

Imagem da explosão de uma estrela, ocorrida em 1841

Background Explorer), dos EUA, lançado em 1989, mapeou o Universo em centenas de comprimentos de onda diferentes e está contribuindo para responder perguntas científicas básicas sobre sua natureza e sua história. Os resultados iniciais do Cobe endossam a tese de que o Universo evoluiu de um estado original uniforme e quente e ainda continua evoluindo.



Mapa feito pelo Cobe com a distribuição da radiação de microondas no Universo em expansão



Uma câmera registra a frenética trajetória de neutrinos presos (*acima*). Neutrinos são partículas elementares desprovidas de massa e, portanto, invisíveis. Os rastros são criados por colisões com outras partículas. A astrônoma Vera Rubin (*página ao lado, em cima*) foi uma das primeiras a detectar a matéria escura ao registrar em chapas fotográficas uma luz fraca que emanava dos pontos mais distantes de nossa galáxia.

das estruturas existentes no Universo nos últimos 5 a 10 bilhões de anos. Os astrônomos esperam que essa reconstituição da história galáctica permita entender como o suave e tranquilo Universo mostrado pelo Cobe adquiriu esse padrão violento e engenhoso observado hoje.

Um novo e ambicioso projeto, o Telescópio Digital Sloan de Pesquisa Espacial, pretende buscar imagens de 100 milhões de galáxias nos próximos dez anos. "Acho que o Universo é muito mais violento do que pensávamos há alguns anos", afirma o cientista Jack O. Burns, da Universidade Estadual do Novo México, um dos participantes do projeto Sloan. "À medida que acumulamos observações sobre as galáxias espalhadas pelo Universo, encontramos muitas evidências de uma existência turbulenta – muitas já se fundiram, se devoraram mutuamente ou se desintegraram através de colisões. Esses choques entre galáxias são comuns – a probabilidade de ocorrerem é muito maior do que a de uma colisão entre duas estrelas na Via-Láctea", explica.

Burns ressalta que, neste exato momento, nossa própria galáxia está arrancando massas de estrelas da Grande Nuvem de Magalhães. Assim, ela vem aumentando de tamanho, canibalizando um outro agrupamento estelar menor.

Do que é feito o Universo? Depois de desvendar o firmamento e analisar cada comprimento de onda e nuance de luz captados pelos modernos instrumentos de observação, os astrônomos admitiram a hipótese de que a maior parte do Universo – talvez entre 90 e 99 por cento de sua massa

Uma das teorias sobre a matéria escura do Universo propõe a presença de corpos invisíveis, chamados Machos (Massive Compact Halo Objects) – objetos massivo e compactos do halo. As setas apontam para uma estrela na Nuvem de Magalhães cuja luminosidade mudou durante as observações. Astrônomos sugerem que um fenômeno como este ocorre quando um Macho cruza a linha de visão do telescópio desviando a trajetória da luz.



MATÉRIA ESCURA

Observações do comportamento de corpos celestes na Via-Láctea e em outras galáxias sugerem a existência de uma imensa atração gravitacional proveniente de um material invisível, que representaria mais de 90 por cento de toda a matéria do Universo.

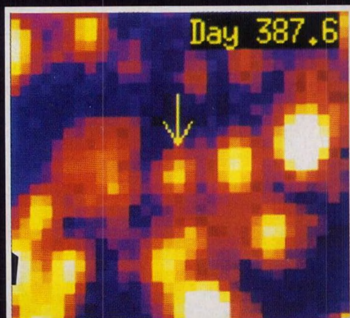
– não tenha sido detectada por ser escura, muito diferente da matéria mais familiar, que brilha.

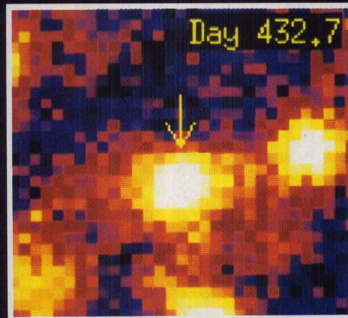
Os cientistas já dissecaram as radiações eletromagnéticas emitidas pelas estrelas e que chegam até nós – como a luz e as ondas de rádio – e delas extraíram inúmeras informações. A luz visível revela a composição das estrelas e o formato das galáxias. Os comprimentos de ondas mais longos, como os das ondas de rádio, são usados pelos astrônomos para observar a memória do nascimento do Universo e os estertores de estrelas agonizantes. Através da luz infravermelha, eles podem enxergar os "ninhos cósmicos", áreas onde se originam novas estrelas. A luz ultravioleta expõe as exalações quentes que cercam as estrelas; raios X revelam a localização dos buracos negros que pontilham as galáxias; e raios gama fluem do centro de núcleos galácticos ativos.

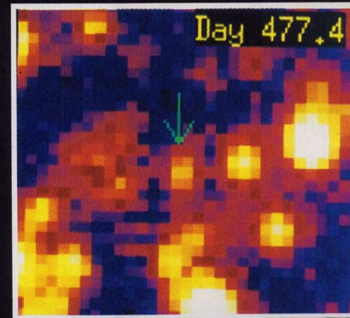
Mas nenhum desses tipos de radiação emana da misteriosa matéria escura que deve impregnar o Universo. Ela é invisível em qualquer comprimento de onda. Apesar de os observadores não conseguirem vê-la, sabem que ela está lá devido aos efeitos que provoca no comportamento de estrelas e galáxias. Vera Rubin, da Instituição Carnegie, de Washington, D.C., é uma das pioneiras na observação desses efeitos. Ela percebeu que as estrelas mais externas de galáxias em espiral, embora viajem a velocidades vertiginosas, não se desprendem nem são jogadas para o espaço aberto. Elas parecem presas, ou gravitacionalmente contidas, a algo formidável – justamente o que os astrônomos chamam de matéria escura.

A equipe de Douglas Lin, da Universidade da Califórnia, em Santa Cruz, ao procurar pela matéria escura na Via-Láctea, combinou observações feitas no decorrer de várias décadas e calculou a massa e a extensão total de nossa galáxia. Em 1993, o grupo chefiado por Lin anunciou que a Via-Láctea tem massa equivalente a 600 bilhões de massas solares. Isso é de cinco a dez vezes maior do que a massa de toda a matéria visível existente na galáxia. E, apesar de estudos anteriores afirmarem que o diâmetro da Via-Láctea estende-se por cerca de 120 mil anos-luz, Lin e sua equipe concluíram que o verdadeiro diâmetro é muito mais majestoso, medindo algo em torno de 800 mil anos-luz.

Além de servir como uma espécie de "cola" galáctica devido à atração gravitacional que exerce sobre estrelas e







O DESTINO DO UNIVERSO

A evolução do Universo depende da quantidade de matéria em seu interior. Se houver apenas a matéria visível, a atração gravitacional que os diversos corpos celestes exercem uns sobre os outros não seria suficiente para conter a expansão do Universo, que então seria infinita.

galáxias, a matéria escura também seria responsável pelo próprio destino do Universo. Se ele surgiu de uma grande explosão inicial, o Big Bang, e desde então está se expandindo, as galáxias podem estar destinadas a se afastar cada vez mais umas das outras. Se isso ocorrer, a expansão do Universo será infinita. Mas, se as galáxias navegam por um mar de matéria escura, então o Universo teria material suficiente para controlar sua expansão. Em determinado momento, a atração gravitacional exercida por essa matéria invisível faria o Universo se contrair até o ponto de uma implosão. É por esse motivo que existe uma verdadeira corrida para se descobrir a natureza e a extensão dessa matéria desconhecida.

Físicos e astrônomos concordam que uma parte da matéria escura é constituída de material comum, sob a forma de corpos celestes de proporções pelo menos iguais às de Júpiter. Também incluiria estrelas de padrão inferior, chamadas anãs marrons, cujas chamas nucleares nunca se acenderam; e estrelas velhas que explodiram e entraram em colapso, formando uma grande variedade de corpos celestes de incrível densidade, como as estrelas de nêutrons e os buracos negros.

Muitos teóricos acreditam que uma porção apreciável da matéria escura, talvez 25 por cento, seja formada por neutrinos cósmicos – um tipo de partícula subatômica. Já foram detectados neutrinos vindos do Sol e de explosões de supernovas. Mas os neutrinos cósmicos, que seriam relíquias dos primórdios do Universo, ainda não foram registrados.

"Existem centenas deles em cada centímetro cúbico à nossa volta", diz David Caldwell, professor de física da Universidade da Califórnia, em Santa Bárbara, e líder do Inpac — Instituto de Astrofísica Nuclear, de Partículas e Cosmologia. "Eles quase não têm massa e viajam muito devagar", afirma. Essas propriedades fazem com que seja virtualmente impossível detectar os neutrinos no espaço. Diante dessa dificuldade, os físicos esperam confirmar sua existência aqui mesmo na Terra, usando aceleradores de partículas.

Outras investigações concentram-se na busca de espécies de matéria escura ainda mais exóticas. Para alguns pesquisadores, elas poderiam ser totalmente diferentes de todas as partículas já observadas. "A teoria do Big Bang, ao mesmo tempo que permite prever a quantidade de matéria visível presente no Universo, também estabelece limites definidos para essa quantidade", explica Caldwell. "Mas resta ainda uma incrível porção de matéria escura que tem de ser composta de alguma outra coisa", diz o físico. "Essa 'outra coisa' deve ser algo que simplesmente ainda não conhecemos."

"O caminho para descobrirmos o que é a matéria escura ainda não está definido", comenta Vera Rubin sobre a febre de pesquisas desencadeada por suas descobertas na década de 70. "Não é incomum os astrônomos observarem algum fenômeno por acaso e depois levarem muito tempo para entendê-lo. Por isso, não nos preocupamos com quebra-cabeças que parecem insolúveis, apenas continuamos a analisá-los até juntarmos algumas peças."

TEXTO ADAPTADO DO ENSAIO DE DAVA SOBEL PARA O LIVRO *Frontline of Discovery* DA *National Geographic Society Book Division*. DAVA SOBEL FOI REPÓRTER DE CIÊNCIAS DO THE *NEW YORK TIMES* E ESCREVE SOBRE ASTRONOMIA PARA AS REVISTAS *OMNI*, *DISCOVER*, *LIFE*, *AUDUBON* E *HARVARD*. AS FOTOS SÃO LOCALIZADAS SEGUNDO AS LETRAS: (A)= EM CIMA, ALTO DA PÁGINA; (B)= EMBAIXO; (E)= À ESQUERDA; (C)= NO CENTRO; (D)= À DIREITA. O COMPLEMENTO DOS CRÉDITOS DAS FOTOS SEGUE AS SEGUINTES ABREVIATURAS: PA= PETER ARNOLD INC.; TIB= THE IMAGE BANK; PR= PHOTO RESEARCHERS; SPL/PR= SCIENCE PHOTO LIBRARY/PHOTO RESEARCHERS. CAPA: ROGER H. RESSMEYER. PÁGINAS 2 E 3: ROGER H. RESSMEYER, STARLIGHT. PÁGINA 4: (A) JIM HARRISON; (B, E) TONY HALLAS/SPL/PR; (B, D) ROYAL OBSERVATORY, EDINBURGH/SPL/PR. PÁGINA 5: (A) MARGARET J. GELLER, JOHN P. HUCHRA, LUIS A. N. DA COSTA E EMILIO E. FALCO, SMITHSONIAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY; (B) ROGER H. RESSMEYER, STARLIGHT. PÁGINAS 6 E 7: JOE TUCCIARONE. PÁGINA 8: (A) ROGER H. RESSMEYER; (B, E) DAVID HARDY/SPL/PR; (B, D) MEHAU KULYK/SPL/PR. PÁGINA 9: (A) J.J. HESTER/ARIZONA STATE UNIV./DIGITALIZADA POR ROGER H. RESSMEYER; (B) NASA, COBE SCIENCE TEAM. PÁGINA 10: DAN MCCOY/RAINBOW. PÁGINA 11: (A) PATRICIA LANZA, CORTESIA DE KCET, LOS ANGELES; (B) CHARLES ALCOCK, MACHO COLLABORATION/SPL/PR.

ESPAÇO II

- NASCIMENTO E MORTE DAS ESTRELAS
- OS TELESCÓPIOS ESPACIAIS
- EM BUSCA DOS EXTRATERRESTRES

DOBRE NA LINHA PICOTADA E DESTAQUE

A AVENTURA DO CONHECIMENTO



NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

O ESTADO DE S. PAULO

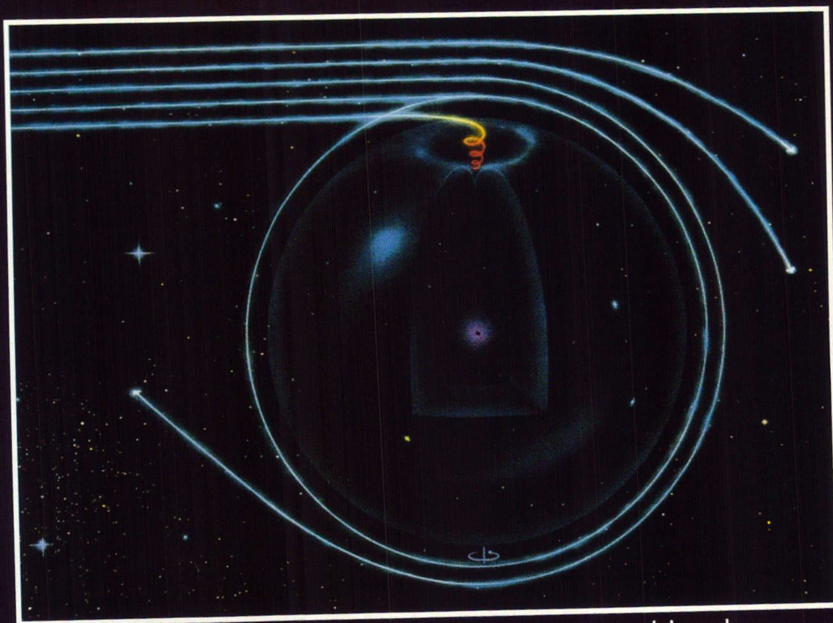


Estadão. Plugado no mundo.

Espaço II

Coordenação editorial Klick editora

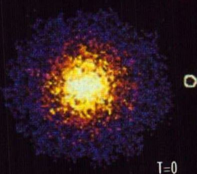
UNIVERSO VIOLENTO

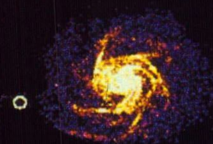

Representação da atração gravitacional de um buraco negro

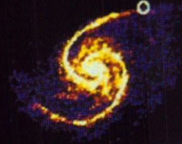
O Universo nunca foi sereno. A teoria mais aceita sobre sua origem – a do Big Bang – afirma que toda a matéria surgiu violentamente numa explosão cósmica de energia, entre 15 e 20 bilhões de anos atrás. Numa fração de tempo imensurável após essa explosão, o Universo em nascimento começou a se expandir. Essa expansão continua até hoje em meio a erupções cósmicas que dão origem a novas estrelas ou as aniquilam sob a forma de supernovas. Estrelas podem entrar em colapso transformando-se em outros corpos celestes, como as chamadas anãs brancas ou as estrelas de nêutrons. Dependendo de sua massa e, portanto, de sua gravidade, esses corpos podem se desintegrar ainda mais. Eles implodiriam, criando um buraco negro – um corpo cercado por uma gravidade tão intensa que suga toda matéria em volta e não deixa escapar nenhuma forma de energia, nem mesmo a luz. Galáxias

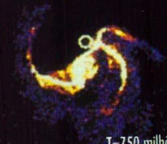

Buraco de minhoca ou buraco branco: o oposto teórico do buraco negro

CAPA: A explosão de uma supernova marca a morte de uma estrela azul


T=0

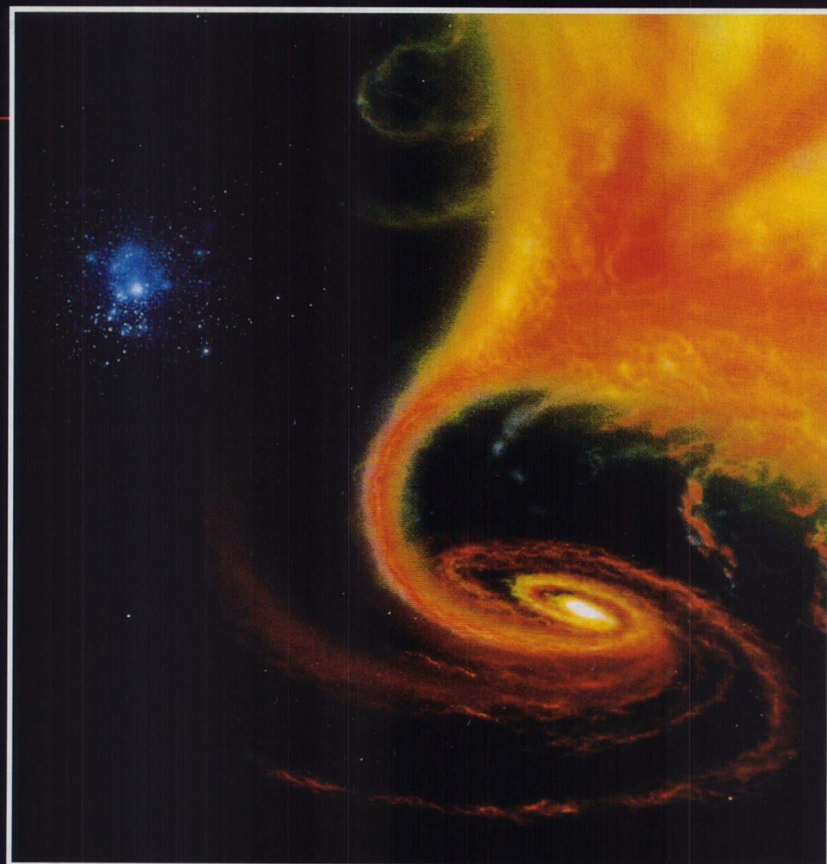

T=250 milhões de anos


T=500 milhões de anos


T=750 milhões de anos

parecem se consumir mutuamente. A maioria ainda está gerando jovens estrelas, mas há sinais sugerindo que algumas já esgotaram sua energia e, dentro de alguns bilhões de anos, boa parte de suas estrelas poderá estar morta ou em fase terminal.

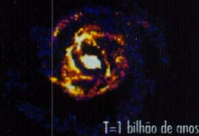
A energia irradiada pelas estrelas cobre todo o espectro de radiações eletromagnéticas. Essa é uma preciosa fonte de informações para os cientistas que aprendem muito sobre o turbulento ciclo de vida das estrelas analisando as radiações que elas emitem. Os raios gama, em particular, constituem uma verdadeira janela neste Universo violento. Eles são produzidos apenas por imensas explosões, associadas ao estilhaçamento de galáxias, pulsares, quasares, supernovas, ou à formação de buracos negros. Os raios gama emitidos por esses fenômenos poderiam levar os observadores a vislumbrar um Universo que existiu há bilhões de anos. Há muitas teorias relativas ao Universo e aumentam as provas que respaldam algumas delas. Ninguém duvida, porém, de que nosso conhecimento ainda é muito limitado. Mas sabemos que continuará se expandindo – tal qual o Universo que tanto queremos entender.



Interpretação artística de uma estrela binária

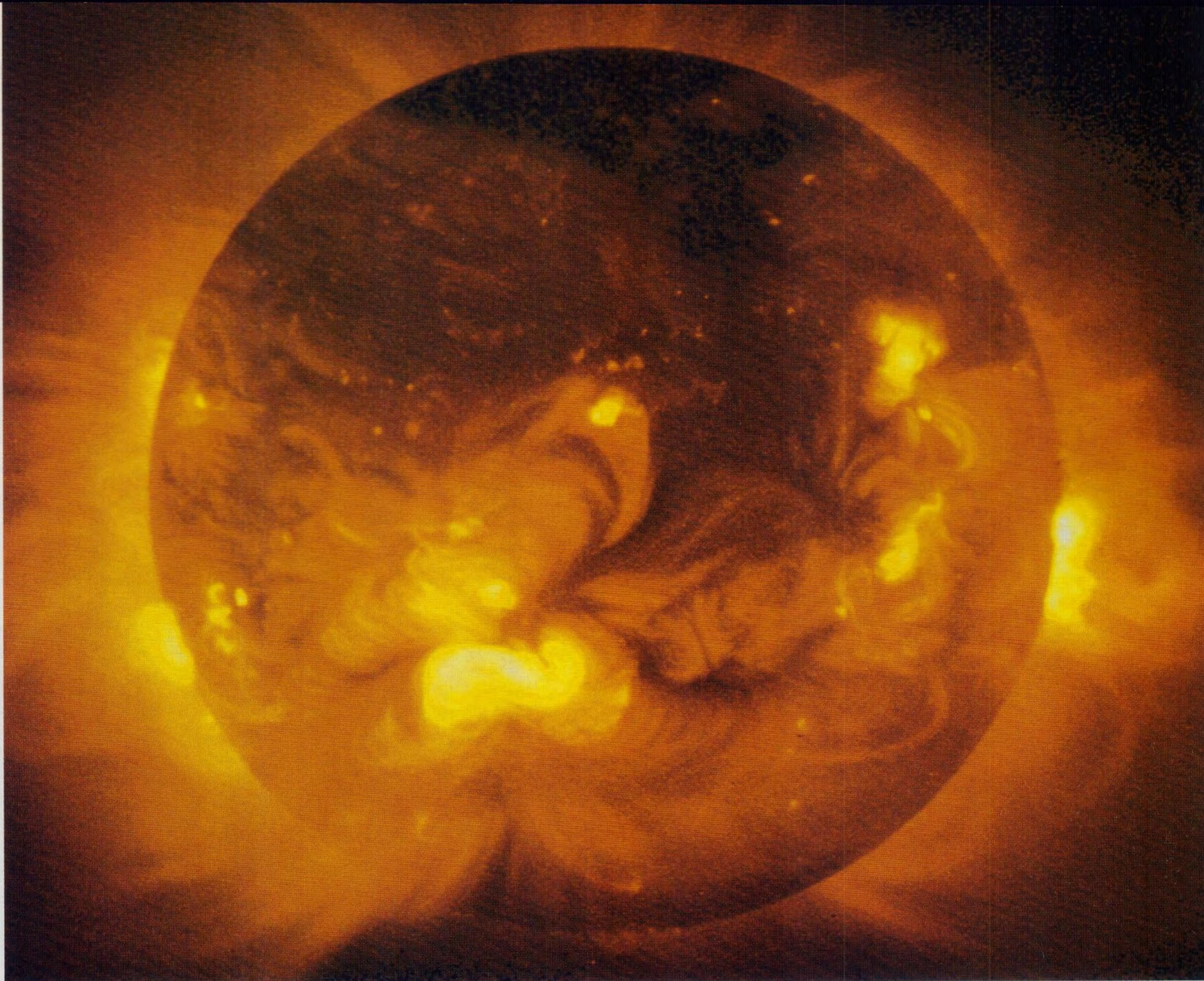


O brilho no centro da galáxia NGC 1068 sugere a presença de um buraco negro





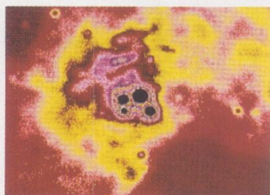
Essas imagens feitas por computador mostram uma galáxia em forma de disco girando com uma galáxia-satélite anã em sua órbita (*extrema esquerda*); em 1,25 bilhão de anos, a anã é completamente engolida pela galáxia maior, que muda de estrutura.



Qual é a idade do Universo? Na versão científica da Gênese, a teoria do Big Bang, o Universo surgiu como um ponto infinitamente quente e denso, menor do que uma cabeça de alfinete, que explodiu e se precipitou num processo de expansão cósmica que semeou o firmamento com galáxias e estrelas semelhantes às que vemos à nossa volta. A maioria dos astrônomos endossa com entusiasmo essa teoria para explicar tal criação. Mas não há um acordo entre eles quanto ao momento em que ela ocorreu – as hispóteses sobre a idade do Universo variam entre 8 e 20 bilhões de anos.

Para calcular o tempo de existência do cosmo, os cientistas tentam medir a velocidade e as distâncias percorridas pela matéria desde seu início. Eles esperam que as descobertas feitas com as novas técnicas e instrumentos de observação ajudem a reduzir essa diferença entre as possíveis datas de nascimento do Universo. Um desses promissores instrumentos de observação é o Telescópio Espacial Hubble, que, ao ser lançado em órbita, em 1990, apresentou um defeito em seus espelhos e, mais tarde, foi consertado em pleno espaço. O nome do telescópio é uma homenagem a Edwin Hubble, astrônomo que em 1929 observou que as galáxias se afastam de nós rumo ao espaço exterior com grande velocidade – quanto mais longe elas se encontram, mais rapidamente fogem. Apoiando-se em trabalhos anteriores, Hubble mediu a velocidade dessa fuga. Depois começou a estimar suas distâncias reais, para, enfim, calcular o índice de expansão do Universo.

Os astrônomos de hoje ainda perseguem o mesmo desafio de Hubble: encontrar um indicador confiável para medir distâncias no espaço e, a partir desse indicador, calcular com maior precisão o tempo de existência do Universo. Procuram um marco que lhes permita contar os megaparsecs na paisagem curva do espaço-tempo (parsec é uma medida de distância astronômica equivalente a 3,26 anos-luz; um



NASCIMENTO E MORTE DAS ESTRELAS

Estrelas (*à esquerda*) nascem como glóbulos frios de moléculas de gás envoltos em vastos casulos de poeira interestelar. A força da gravidade de seus componentes contrai e aquece esses glóbulos até os átomos que os compõem começarem a se fundir, liberando energia. A tensão entre as forças de sua própria gravidade e a de expansão do núcleo em explosão determina o tempo de vida de cada estrela.

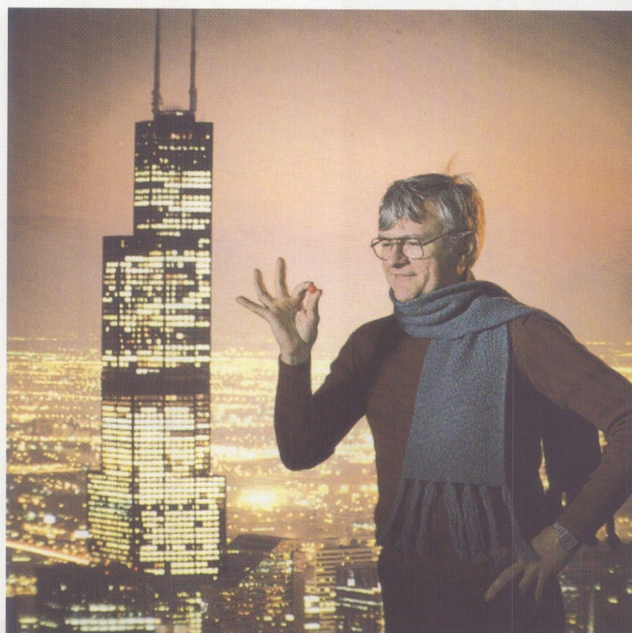
megaparsec é igual a 3,26 milhões de anos-luz). Até agora, o indicador de distância mais preciso é um tipo de estrela grande e jovem chamada variável cefeida, cujo brilho varia periodicamente de intensidade. Em 1912, a astrônoma Henrietta Leavitt, de Harvard, demonstrou que as alterações de luminosidade nessas estrelas podem ser previstas: quanto mais longo seu ciclo, maior sua verdadeira luminosidade. Uma variável cefeida com um ciclo de dez dias, por exemplo, brilha com uma intensidade 2 mil vezes maior que a do Sol. Se o brilho de uma cefeida com ciclo de dez dias parece mais fraco do que isso, tal fato se deve a sua distância em relação a nós – e, como sabemos então a intensidade de seu brilho, podemos determinar sua distância.

Edwin Hubble usou as estrelas cefeidas para calcular a distância até a galáxia de Andrômeda, provando que ela se encontra além da Via-Láctea. Embora as cefeidas sirvam como "velas-padrão" por brilharem com a mesma luminosidade, infelizmente elas somem de vista nas imensas distâncias extragaláticas e não podem mais ser usadas como indicadores.

Antes da correção de seus espelhos, em 1993, o Telescópio Espacial Hubble captou sinais de cefeidas em galáxias localizadas a distâncias de até 12 milhões de anos-luz. Depois do conserto, com sua visão ampliada, já detectou cefeidas em galáxias a 60 ou 70 milhões de anos-luz. Essa sextuplicação de capacidade, no entanto, ainda não leva os astrônomos à beira do Universo observável, a bilhões de anos-luz. A essa distância, as galáxias são arrebatadas numa violenta correnteza chamada fluxo Hubble e viajam a velocidades verdadeiramente significativas para resolver o debate sobre a idade do Universo. Mas a ampliação da capacidade de visão do telescópio já serviu para os astrônomos determinarem um novo marco zero no sistema de medidas cósmicas.

Wendy Freedman, dos Observatórios Carnegie, em Pasadena, na Califórnia, e chefe da equipe do projeto para a Escala de Distância Extragalática do Telescópio Espacial Hubble, literalmente tirou o pó dos marcos cefeidas. "Como elas são estrelas jovens, ainda se encontram perto da poeira e do gás que lhes deram origem", explica Freedman. Junto com Barry Madore, da Caltech, Freedman mostrou que essa poeira pode encobrir a verdadeira luminosidade de uma cefeida, fazendo-a parecer mais

Com cerca de 5 bilhões de anos, o Sol (*página ao lado*) está na metade de sua vida útil e deve durar outros cinco bilhões de anos. Mas, como todas as estrelas, ele também vai queimar seu combustível e esgotar-se. Quando isso acontece, as estrelas se contraem e entram em colapso, atingindo uma densidade sem paralelos com nenhuma outra substância. É como se a Torre Sears, em Chicago (*abaixo*), fosse comprimida numa bola de apenas um centímetro de diâmetro, mas com 4,5 milhões de toneladas de peso.





TELESCÓPIOS

Indispensáveis à astronomia moderna, os telescópios se transformaram em instrumentos hipersensíveis e complexos, capazes de medir as pulsações de galáxias distantes ou de explorar a superfície incandescente do Sol.

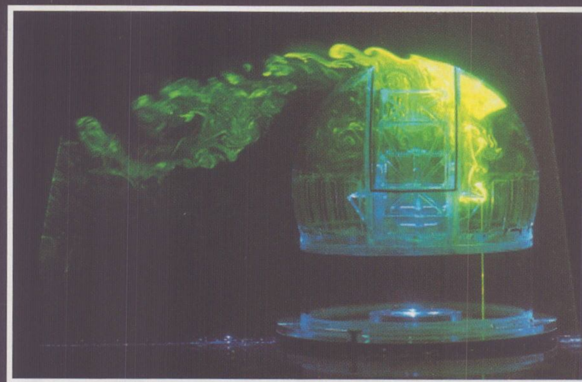
distante. Para contornar esse problema, eles acrescentaram às imagens obtidas com luz visível observações feitas com luz infravermelha. "Ao fazer essa correção, descobrimos que as distâncias até as cefeidas são menores do que julgávamos", informa Freedman.

Recentemente, uma equipe dos Observatórios Carnegie começou a tomar as estrelas em explosão, as chamadas supernovas, como marco para medir distâncias no espaço e concluiu que o Universo tem 15 bilhões de anos. Para chegar a isso, primeiro eles usaram as cefeidas para medir a luminosidade e distância das supernovas. Tomaram como referência supernovas conhecidas como de tipo IA, que são "velas-padrão" mais brilhantes do que as cefeidas. Se, como muitos astrônomos presumem, as explosões dessas supernovas IA têm sempre a mesma magnitude, então sua luminosidade indica uma distância diferente da que se supunha.

Para checar esse dado, a equipe Carnegie primeiro detectou cefeidas e supernovas de tipo IA nas mesmas galáxias e calculou as distâncias até elas usando as cefeidas como escala. Feito isso, eles focalizaram seus telescópios em galáxias mais distantes, onde os sinais das supernovas tipo IA ainda pulsam, mas as cefeidas não podem mais ser observadas.

Robert Kirshner, do Centro Harvard-Smithsonian de Astrofísica, outro devoto das explosões de supernovas como escala de medida, prefere a variedade de tipo II, que sinaliza o colapso cataclísmico de estrelas muito mais massivas. "Ao contrário das estrelas de tipo IA, que funcionam como 'velas', a supernova de tipo II é um verdadeiro padrão de comparação", explica Kirshner. "Ela permite a medição de

A boa visão de um telescópio óptico não depende apenas de um céu limpo e um meio ambiente compatível fora do observatório, mas também de condições cuidadosamente controladas dentro do próprio prédio onde está instalado. A menor mudança de temperatura na cúpula pode distorcer as imagens das estrelas. À procura de meios para diminuir essas turbulências internas, cientistas da Universidade de Washington realizam uma experiência para medir a circulação de ar no ambiente. Eles submergem um modelo em acrílico de um telescópio abobadado (*à direita*) e usam tinta verde para simular o fluxo de ar. Um raio laser de varredura ilumina o túnel de água.



distâncias no Universo de uma forma independente do método cefeida ou de qualquer outra técnica", afirma.

Para cada supernova estudada, Kirshner e seus colegas primeiro determinam a temperatura, luminosidade e velocidade de expansão da explosão estelar. Depois, usam esses dados para tentar estabelecer a distância até a estrela morta. "Agora estamos alcançando distâncias onde as galáxias realmente são uma parte do fluxo Hubble", diz Kirshner animadamente. "É lá que as coisas realmente acontecem."

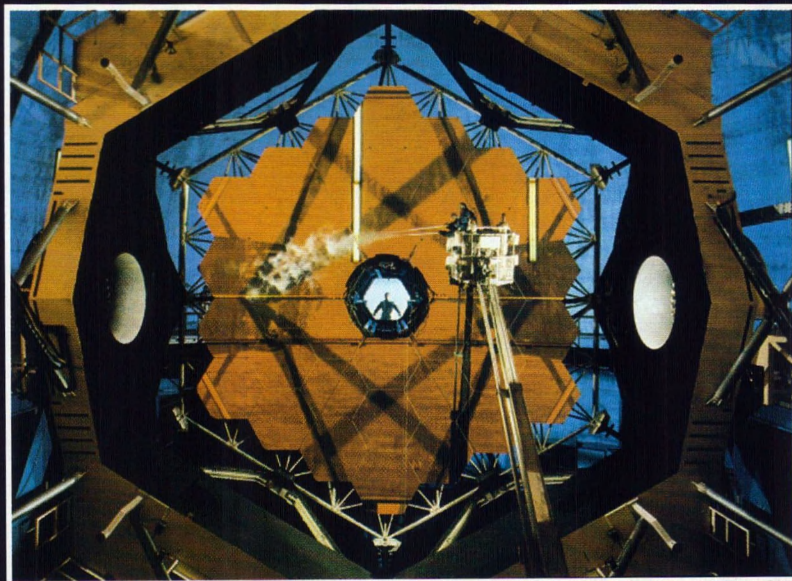
O Universo pode ser eterno? Para prever o futuro do Universo, astrônomos olham para o passado – para a quantidade de energia e matéria que continha nas primeiras frações de segundo de sua existência. Fazem isso porque o destino final do Universo depende de dois fatores básicos: a massa de matéria visível e não-visível criada no momento do Big Bang e a velocidade com que as fronteiras do espaço-tempo se alargam.

Os cientistas supõem que, se a quantidade de matéria for pequena e o índice de expansão for grande, o Universo se ampliará indefinidamente. Ao mesmo tempo em que se alastra, irá escurecendo e esfriando até se transformar em um volume de espaço incalculável ocupado por brasas e cinzas. Mas, se o Universo tiver muita substância e uma taxa de expansão relativamente modesta, a ação gravitacional de sua massa vai desacelerar sua expansão até o ponto em que ele começará a se retrair. Na medida em que for se contraindo, o Universo se reaquecerá, até entrar em colapso total e implodir – um fenômeno tão denso e quente quanto o do Big Bang.

Existe ainda uma terceira via teórica denominada Universo inflacionário. Proposta inicialmente por Alan Guth, do MIT – Massachusetts Institute of Technology –, essa teoria visualiza um Universo que, em alguns trilionésimos de segundo após o Big Bang, expandiu-se exponencialmente de um minúsculo ponto até obscurecer para sempre suas fronteiras mais distantes. Segundo tal teoria, o Universo não está em processo de expansão infinita nem é massivo o suficiente para se contrair, mas se encontra precisamente entre esses dois extremos. Esse Universo "plano" conteria massa suficiente para continuar se ampliando, mas a uma taxa de desaceleração constante.

Muitos astrônomos estão analisando a densidade do Universo para descobrir se ela é igual à chamada densidade crítica exigida para uma condição plana. "Tenho a impressão de que o modelo de um Universo *(continua na página 10)*

Operando como um único instrumento, os 27 coletores de ondas de rádio do sistema de antenas receptoras situado no Novo México (*à esquerda*) procuram sinais fracos demais para a detecção óptica. Protegendo os olhos de um brilho do Sol tão perigosamente próximo (*página ao lado, em cima*), um astrônomo do Telescópio Solar McMath estuda o disco solar a partir de seu reflexo.



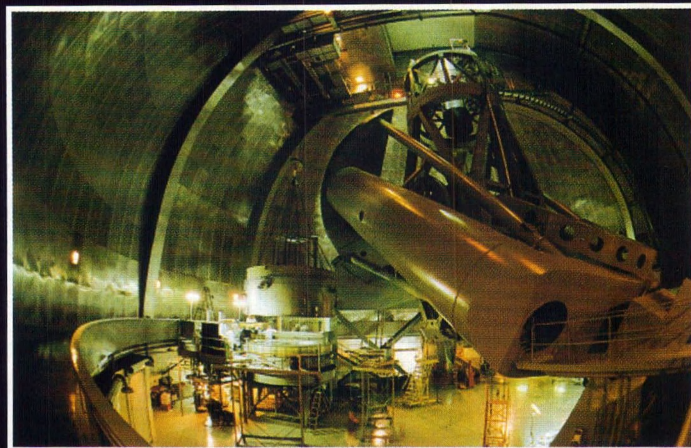
O espelho gigante do Telescópio Keck passa por uma limpeza



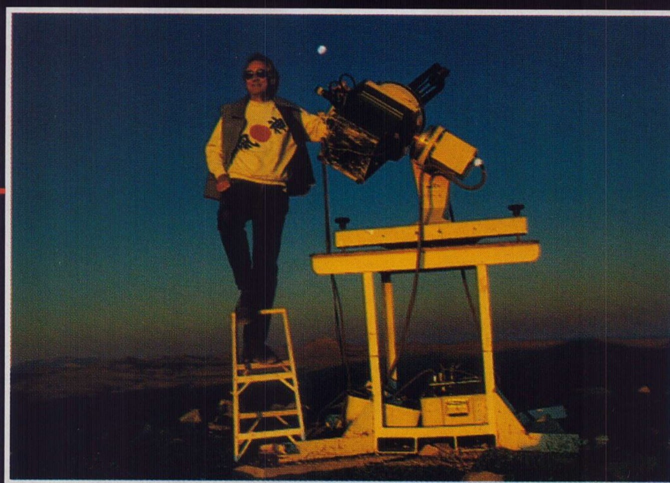
Espelhos hexagonais

Os primeiros telescópios eram simples tubos com lentes nas pontas. O instrumento inventado por Galileu Galilei no princípio do século XVII revolucionou a astronomia. Mas os aficcionados pelas estrelas, sempre querendo ver melhor e mais longe, exigiam telescópios cada vez maiores. O grande problema era o preço das imensas lentes necessárias para perscrutar as distâncias celestes. No século XX, a maioria dos astrônomos substituiu as lentes por espelhos.
O primeiro telescópio de reflexão foi projetado por Isaac Newton na segunda metade do século XVII e produzia as imagens usando dois espelhos. O maior, normalmente côncavo, coleta a luz e focaliza a imagem no menor, que a desvia para um visor. Diversas modificações melhoraram o desenho original do telescópio de Newton, mas não o substituíram.

Para produzir um espelho preciso, primeiro é necessário lixar e polir meticulosamente uma grande chapa de vidro até se obter a concavidade desejada. Em seguida, o vidro é coberto por uma camada de prata, alumínio ou outra substância altamente reflexiva. A luz é refletida pela superfície em vez de passar por ela. Quanto maior o espelho, mais luz é coletada e mais brilhante a imagem produzida. É por essa



O telescópio de reflexão, de 5,08 metros, do Observatório Palomar

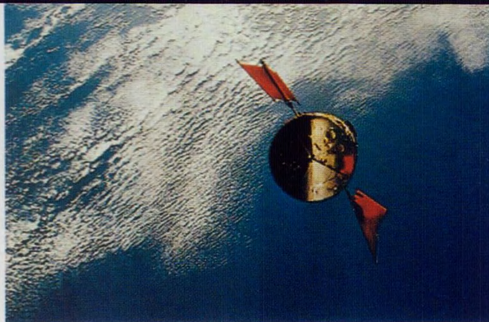


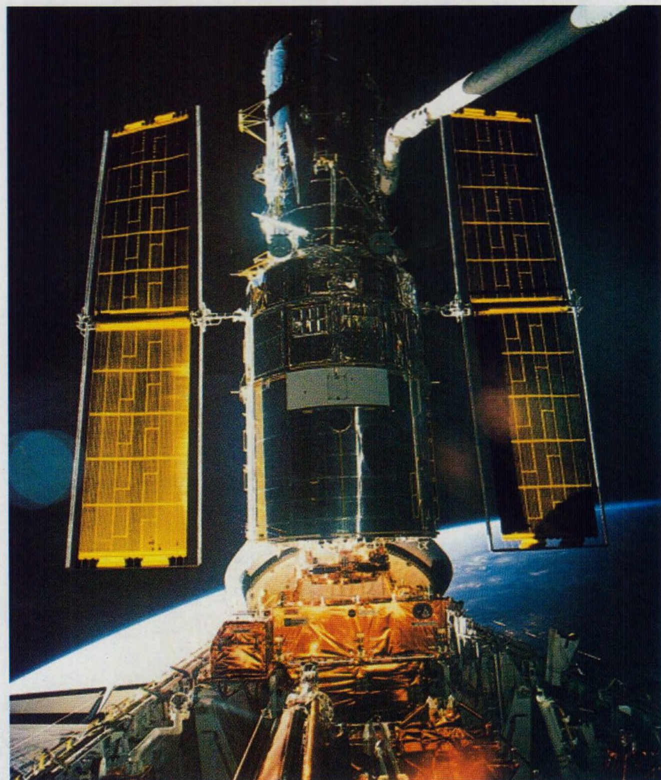
Um astrônomo analisa a área do observatório de Cerro Paranal, no Chile

razão que continuam os esforços para viabilizar a produção de espelhos cada vez maiores. Contudo os espelhos enormes – com diâmetro superior a 4 metros –, podem ficar com o foco distorcido devido a sua curvatura. Alguns observatórios resolveram este problema montando espelhos compostos por outros menores, todos direcionados para o mesmo ponto focal. Um dos primeiros gigantescos espelhos múltiplos foi construído para o Telescópio Keck, até hoje o maior telescópio de reflexão do planeta.

Instalado no Havaí, o Telescópio Keck é composto de 36 espelhos hexagonais, cada um deles medindo 1,8 metro de diâmetro e pesando 450 quilos. Mas este supertelescópio não reinará sozinho por muito tempo. Já está sendo planejada a instalação de sistemas deste gênero em observatórios localizados no Chile e no Japão.

O Telescópio Keck, no topo do Mauna Kea, no Havaí, dirige seus espelhos para o espaço





Em dezembro de 1993, numa delicada missão científica, o Telescópio Espacial Hubble (*acima e ao alto*) foi consertado em pleno espaço por astronautas do ônibus espacial norte-americano Endeavour. Com sua visão míope corrigida, o telescópio voltou a flutuar livremente.

inflacionário não será confirmado nem refutado na próxima década", comenta o astrônomo e escritor Alan Lightman, do MIT. "Sabemos que o Universo é quase plano, mas comprovar que é completamente plano é muito difícil. Com esse modelo, muitas das atividades interessantes em cosmologia foram empurradas para além do primeiro nanossegundo, ou milimicrossegundo, um período de tempo que não seremos capazes de explorar com telescópios, nem aceleradores de partículas baseados na Terra", diz Lightman. Para ele, a teoria está muito mais avançada do que a prática, mas, gradualmente, o modelo do Universo inflacionário poderá ser uma das referências básicas aceitas pela maioria dos especialistas em cosmologia.

Com quem compartilhamos o cosmo? Para os cientistas, os fatos que levaram ao povoamento da Terra foram maravilhosos, mas não milagrosos. Cenários semelhantes poderiam ter ocorrido em inúmeros planetas de outras estrelas. Até agora, no entanto, os astrônomos não identificaram nenhum outro planeta além dos existentes em nosso sistema solar. Encontraram apenas indícios, como grandes discos de matéria ao redor de estrelas distantes. Muitos astrônomos acreditam que o número de estrelas acompanhadas por planetas pode ser grande e que há chances de existir vida inteligente numa fração apreciável deles.

O radioastrônomo Frank Drake, do campus da Universidade da Califórnia em Santa Cruz, realizou a primeira busca de civilizações extraterrestres há mais de 30 anos, no Observatório Nacional de Radioastronomia da Virgínia Ocidental. Drake também criou uma equação para calcular o possível número de civilizações na Via-Láctea – ele acha que existem cerca de 10 mil. Elas poderiam ser detectadas por meio dos sinais de rádio que vazam de seus planetas nativos para o espaço. A Terra vem enviando notícias da existência humana desde a década de 40, com a grande difusão das transmissões de televisão. As mensagens terrestres já devem se espalhar por um raio de pelo menos 50 anos-luz ao redor do sistema solar e poderiam muito bem ser captadas por extraterrestres atentos.

"Nada é mais frustrante do que imaginarmos que, neste exato momento, mensagens de rádio de outras civilizações

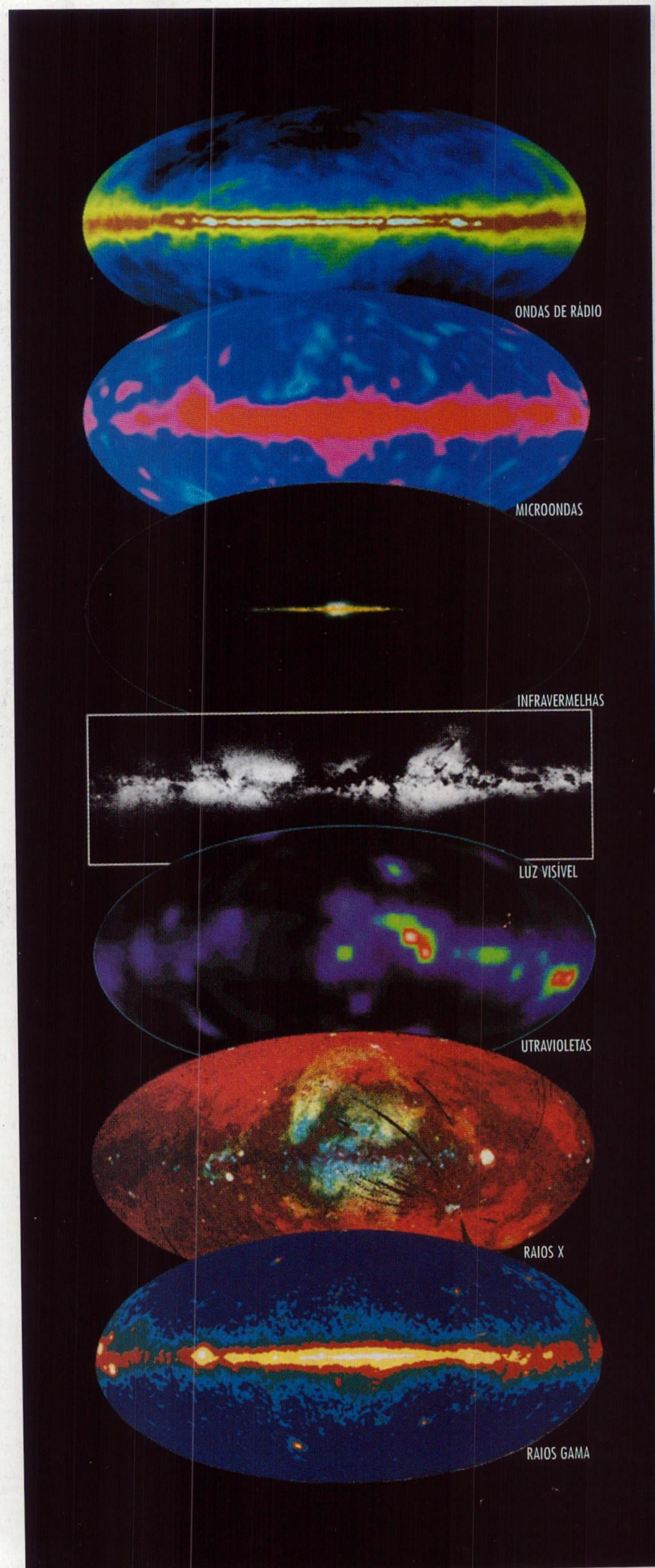
CAPTANDO O INVISÍVEL

Balões, foguetes e satélites em órbita terrestre permitem monitorar as radiações eletromagnéticas que chegam até nós, acima e abaixo do espectro visível. Cada faixa de onda – das ondas de rádio aos raios gama – traz informações que ajudam os astrônomos a entender a natureza, estrutura e história do Universo.

habitadas da Austrália, o grupo de Sagan detectou vários sinais de vida: uma atmosfera rica em oxigênio, verdadeira anomalia entre os planetas do sistema solar; um brilho na superfície terrestre intenso em alguns comprimentos de onda e fosco em outros, um resultado bem diferente do obtido em planetas desprovidos de vida; e reveladoras pulsações de ondas de rádio.

"Essas discrepâncias só poderiam ser explicadas pela presença de vida", informa Sagan. "Mais que isso: a Terra projeta no espaço sinais de que é habitada por criaturas que dominam a tecnologia."

Se captássemos uma única fonte extraterrestre de sinais de rádio, já poderíamos ter a certeza de que temos parceiros no Universo. Se em décadas de busca nada captarmos, sempre restará espaço para a dúvida, pois alguns sinais podem permanecer ocultos ou bloqueados em regiões não-examinadas. O fracasso nessa busca não é prova de nossa solidão.



Imagens produzidas por equipamentos sensíveis às diferentes radiações eletromagnéticas acima e abaixo da luz visível, representada (*ao lado*) por uma foto da Via-Láctea. As ondas de rádio revelam a estrutura da galáxia. As microondas comparam temperaturas locais à média registrada no Universo. As infravermelhas mapeiam as estrelas quentes próximas. Raios X tingem o céu de vermelho e os raios gama indicam onde há choque entre raios cósmicos e gás.

Texto adaptado do ensaio de Dava Sobel para o livro Frontline of Discovery da National Geographic Society Book Division. Dava Sobel foi repórter de ciências do *The New York Times* e escreve sobre astronomia para as revistas *Omni, Discover, Life, Audubon* e *Harvard*. Fotos localizadas segundo as iniciais: (a)= em cima, alto da página; (b)= em baixo; (e)= à esquerda; (c)= no centro; (d)= à direita. O complemento dos créditos das fotos segue as seguintes abreviaturas: PA= Peter Arnold Inc.; TIB= The Image Bank; PR= Photo Researchers; SPL/ PR= Science Photo Library/ Photo Researchers.
Capa: David Malin, Anglo-Australian Observatory. Página 2: (e) David Hardy/ SPL/PR; (d)Tony Craddock/SPL/PR. Páginas 2 e 3, J. Chistopher Mihos e Lars Hernquist. Página 3:(a) Julian Baum SPL/ PR; (b) Nasa, Hubble Espace Telescope/European Space Agency. Página 4: Lockheed Research Laboratory, Palo Alto / Marshall Space Flight Center-Nasa em colaboração com National Astronomical Observatory of Japan e Toquio Univ./ Institute of Space and Astronautical Science. Página 5: (a) George Fowler/SPL/ PR; (b) Roger H. Ressmeyer. Página 6: (a) Roger H. Ressmeyer, Starlight; (b) Peter Menzel. Páginas 7 a 9: Roger H. Ressmeyer, Starlight. Página 10: Nasa (as duas fotos). Página 11: Nasa/Hubble Space Telescope/digitalizada por Roger H. Ressmeyer. Página 12: (1ª foto) Christine Jones, Willian R. Forman e Carolin Stern/Harvard Smithsonian Center for Astrophysics; (2ª) Lawrence Berkeley Laboratory, Cobe Science Team/Differential Microwave Radiometer; (3ª) Nasa/Goddard, Cobe Science Team/Diffuse Infrared Background Experiment; (4ª) European Southern Observatory; (5ª) Richard C. Henry, Maryland Space Grant Consortium; (6ª) Joachim Trumper, Max Planck Institute for Extraterrestial Physics; (7ª) Carl Fichtel, Nasa/Goddard, Compton Observ. Egret Team.

TELESCÓPIOS ESPACIAIS

Telescópios equipados com câmeras potentes instalados na órbita da Terra ficam livres das interferências atmosféricas, transmitindo imagens de resolução muito superior às produzidas pelos observatórios baseados na superfície do planeta.

do espaço estão passando por nossas casas como um sussurro sem que possamos escutá-las", afirma Drake.

Em outubro de 1992, a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (Nasa) norte-americana lançou um ambicioso programa, conhecido como Seti (Search for Extraterrestrial Intelligence), em busca de seres extraterrestres inteligentes. A procura seria feita ao longo de 10 anos em cerca de mil estrelas parecidas com o Sol por uma rede de radiotelescópios baseada em Porto Rico, Califórnia, Austrália e Europa. Um ano depois de seu lançamento, porém, o projeto teve suas verbas cortadas pelo Congresso dos EUA.

Entre o grande público, no entanto, o interesse pela busca de inteligências extraterrestres é tão intenso que vários programas de longo prazo continuam operando com dinheiro de doações particulares. A missão Seti, da Nasa, foi rebatizada de Projeto Phoenix e recebeu milhões de dólares doados por líderes empresariais. Um outro projeto, o Meta (Megachannel Extraterrestrial Assay), recebe o apoio da Sociedade Planetária, uma organização de entusiastas por estudos espaciais fundada pelos astrônomos Carl Sagan, da Universidade Cornell, e Bruce Murray, do Instituto de Tecnologia da Califórnia.

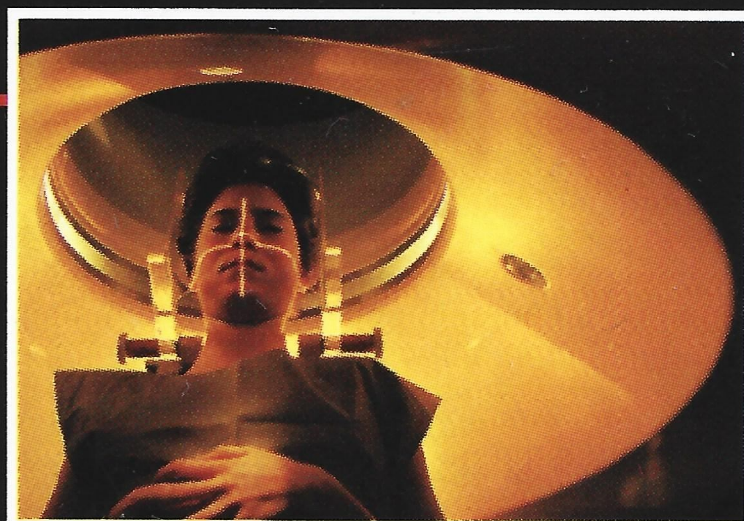
Recentemente, Sagan e seus colegas usaram um equipamento de sensoreamento remoto instalado na sonda espacial Galileu para examinar a Terra de uma perspectiva extraterrestre. Apesar de a nave ter sobrevoado o Pólo Sul e regiões não



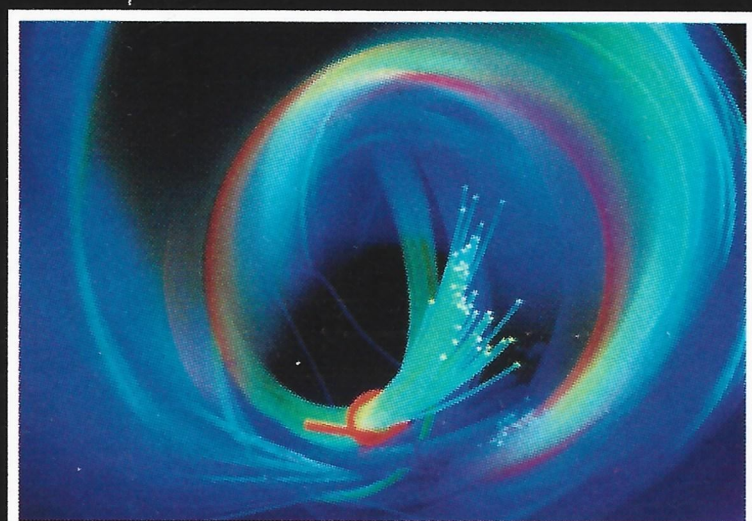


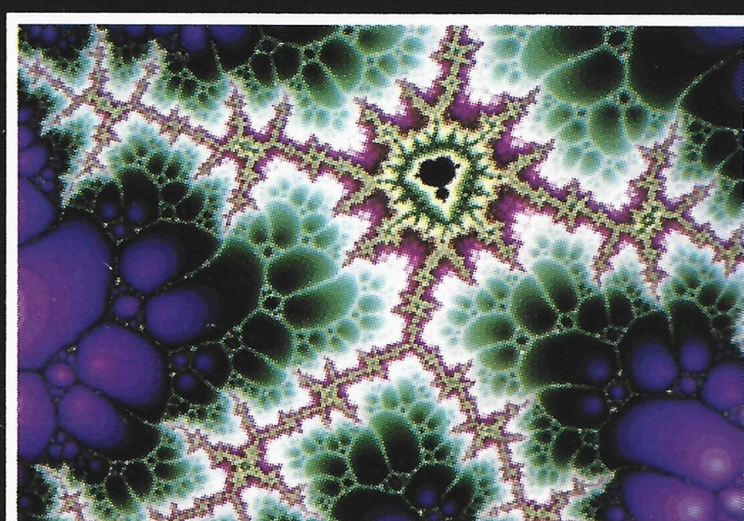
Imagens transmitidas pelo Telescópio Espacial Hubble mostram uma distante galáxia conhecida simplesmente como M100. Uma das primeiras imagens (*à esquerda*), produzida antes do conserto de suas lentes míopes, embora já suplantasse a qualidade das que poderiam ser obtidas da Terra, decepcionou pela falta de nitidez. Uma outra imagem (*à direita*), captada após a missão espacial que corrigiu os espelhos do Hubble em 1993, tem foco mais nítido e revela detalhes na estrutura espiral da galáxia. Permite também uma apreciação inédita de nuvens de poeira cósmica, gases e estrelas individuais bem no centro da galáxia.

A AVENTURA DO CONHECIMENTO


JOE McNALLY/THE IMAGE BANK


JIM RICHARDSON/WESTLIGHT


DOMINIQUE SARRAUTE/THE IMAGE BANK


ART MATRIX/RAINBOW


ROGER H. RESSMEYER/STARLIGHT

A Aventura do Conhecimento traz os mais recentes avanços da ciência e suas futuras aplicações. Autores premiados e fotógrafos de renome exploram os novos terrenos conquistados pela inteligência humana. Desmistificam descobertas genéticas e biológicas, levam o leitor às profundezas do espaço e a explorar em detalhes os efeitos do clima sobre as civilizações, relatam o desenvolvimento de novas tecnologias e mostram os materiais que abrem as portas para horizontes inimagináveis. O resultado é um amplo panorama multifacetado e fascinante da ciência atual – um mundo vibrante, mas também cheio de incertezas.

